

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

System chránění na rozvodně R245 kV TR Milín

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr THOMA**
Osobní číslo: **E14N0030K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **System chránění na rozvodně R245 kV TR Milín**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Popište problematiku systému chránění v elektrických stanicích přenosové soustavy.
2. Analyzujte typizované systémy chránění pro konkrétní případy přenosové soustavy. Postup uvádění do provozu.
3. Popište řešení systému chránění pro přenosové a blokové vedení rozvodny R245 kV TR Milín.
4. Proveďte návrh nastavení rozdílové ochrany přípojnic a automatiky selhání vypínače na rozvodně R245kV TR Milín.
5. Navrhněte řešení systému chránění transformátoru 220/110/10,5 kV, 200 MVA na rozvodně R245kV TR Milín.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

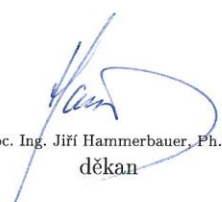
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jana Jiříčková, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**


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




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem nastavení rozdílové ochrany přípojnic v elektrické stanici TR Milín a ochran transformátoru T201 220/110/10,5kV o výkonu 200 MVA. V diplomové práci jsou popsány principy používaných ochran v elektrických stanicích ČEPS pro přenosová, bloková vedení a transformátory včetně jejich uvádění do provozu. Nastavení rozdílové ochrany přípojnic bylo dosaženo na základě myšlenky, že rozdílová ochrana přípojnic nesmí způsobit výpadek zbývajících vývodů připojených na stejnou přípojnicí v případě poruchy měření jedné vývodové jednotky rozdílové ochrany přípojnic při maximálním zatížení tohoto vedení.

Klíčová slova

Distanční ochrana, rozdílová ochrana přípojnic, nadproudová ochrana transformátoru, rozdílová ochrana transformátoru, přenosová soustava, elektrická stanice.

Abstract

This thesis deals with setting differential protection bushbars in the electrical station TR Milín and protections of the transformer T201 220/110/10,5kV of 200MVA. In this thesis describes the principles used protections in electrical stations ČEPS for transmission, block lines and transformers, including their commissioning. Setting the differential protection busbars has been based on the idea, that this protection must not cause a loss of undamaged field in electrical station in the event that a fault occurs on one field.

Key words

Distance protection, differential protection bushbars, overcurrent protection transformer, differential protection transformer, transmission lines, electrical station.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne

Petr Thoma

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval mému kolegovi panu Pavlu Linkovi za jeho ochotu, díky které jsem mohl načerpat jeho dlouholeté zkušenosti v oblasti energetiky během mého působení ve společnosti Nionex, a.s. a uplatnit je při zpracování této diplomové práce.

Na závěr chci také poděkovat vedoucí mé diplomové práce paní Ing. Janě Jiříčkové, Ph.D. za její vedení a věčné připomínky.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD.....	13
1 PROBLEMATIKA SYSTÉMU CHRÁNĚNÍ V ELEKTRICKÝCH STANICÍCH PŘENOSOVÉ SOUSTAVY	15
1.1 ZÁKLADNÍ AXIÓMY CHRÁNĚNÍ PŘENOSOVÉ SOUSTAVY	15
1.1.1 Vzdálené zálohování ochran	15
1.1.2 Místní zálohování ochran	15
1.2 TYPY PORUCH V ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ	16
1.3 POŽADAVKY NA PŘÍSTROJOVÉ TRANSFORMÁTORY PROUDU	17
1.4 POŽADAVKY NA PŘÍSTROJOVÉ TRANSFORMÁTORY NAPĚTÍ	19
2 TYPIZOVANÉ SYSTÉMY CHRÁNĚNÍ PRO KONKRÉTNÍ PŘÍPADY PŘENOSOVÉ SOUSTAVY A POSTUP UVÁDĚNÍ DO PROVOZU	21
2.1 OCHRANY PŘENOSOVÉHO VEDENÍ	21
2.1.1 Rozdílová ochrana přípojnic (ROP) a automatika selhání vypínače (ASV)...	25
2.2 OCHRANY BLOKOVÉHO VEDENÍ.....	26
2.3 OCHRANY TRANSFORMÁTORU	28
2.3.1 Rozdílová ochrana transformátoru.....	28
2.3.2 Nadproudové ochrany transformátoru	32
2.3.3 Zemní ochrana nádoby transformátoru.....	34
2.3.4 Plynové relé	35
2.4 POSTUP UVÁDĚNÍ DO PROVOZU SYSTÉMŮ CHRÁNĚNÍ.....	35
2.4.1 Zkoušky ochran přenosového a blokového vedení.....	35
2.4.1.1 Zkoušky ochran transformátoru	39
3 ŘEŠENÍ SYSTÉMU CHRÁNĚNÍ PRO PŘENOSOVÉ A BLOKOVÉ VEDENÍ ROZVODNY R245KV TR MILÍN	45
3.1 SYSTÉM ŘEŠENÍ OCHRAN PŘENOSOVÉHO VEDENÍ NA TR MILÍN.....	45
3.2 SYSTÉM ŘEŠENÍ OCHRAN BLOKOVÉHO VEDENÍ NA TR MILÍN	50

4 NÁVRH NASTAVENÍ ROZDÍLOVÉ OCHRANY PŘÍPOJNIC A AUTOMATIKY SELHÁNÍ VYPÍNAČE NA ROZVODNĚ R245KV TR MILÍN	52
.....	
4.1 SYSTÉM ŘEŠENÍ ROP A ASV NA TR MILÍN	52
4.2 NÁVRH NASTAVENÍ ROP A ASV	53
5 NÁVRH SYSTÉMU CHRÁNĚNÍ TRANSFORMÁTORU 220/110/10,5 KV, 200 MVA NA ROZVODNĚ R245KV TR MILÍN.	55
.....	
5.1 NADPROUDOVÉ OCHRANY 7SJ804 TRANSFORMÁTORU T201 MILÍN	58
5.2 ROZDÍLOVÁ OCHRANA TRANSFORMÁTORU T201 (9) (20) (21)	67
ZÁVĚR	70
6 CITOVANÁ LITERATURA	71
PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratk

\overline{Z}_{AF}	Impedance poruchové smyčky vedení
$\cos \varphi_n$	Jmenovitý sekundární účinník PTN
I_{1n}	Jmenovitý primární proud PTP
I_{2n}	Jmenovitý sekundární proud PTP
I_{2r}	Rozběhový proud nadproudové ochrany
I_K	Primární zkratový proud protékající přes PTP
I''_{Kmax3f}	Maximální třífázový zkratový proud
I''_{Kmin2f}	Minimální dvoufázový zkratový proud
I''_{Kmin3f}	Minimální třífázový zkratový proud
I_{Nmax}	Maximální jmenovitý proud vedení
I_n	Jmenovitý proud
I_{rAprim}	Rozběhový proud v primárních hodnotách
$I_{rAsekund}$	Rozběhový proud v sekundárních hodnotách
K_{td}	Jmenovitý číselník pro dimenzování pro přechodné stavy
$L_{kabelu\ v\ rovině}$	Indukčnosti kabelu pro jeho uložení v rovině
P_0	Ztráty transformátoru naprázdno
P_n	Jmenovitá zátěž
R_2	Činný odpor sekundárního vinutí PTP
R_S	Celkový odpor sekundárního obvodu
R_b	Jmenovitá odporová zátěž
R_{bS}	Skutečná zátěž
R_{ct}	Odpor sekundárního vinutí
R_p	Činný odpor vedení od PTP
S_n	Jmenovitý výkon transformátoru
U_{lim}	Požadovaná velikost limitního napětí
U_n	Jmenovité napětí
U_{zkratu}	Napětí v místě zkratu
X_{RS011}	Náhradní reaktance reaktoru RS011
X_{T011}	Náhradní reaktance transformátoru vlastní spotřeby T011
X_{T201}	Náhradní reaktance transformátoru T201

X_{cmax}	Celková maximální reaktance zkratového příspěvku
X_{cmin}	Celková minimální reaktance zkratového příspěvku
X_k	Náhradní reaktance kabelu
X_{smax}	Náhradní maximální reaktance soustavy
X_{smin}	Náhradní minimální reaktance soustavy
c_{max}	Napěťový součinitel maximálních zkratových proudů
c_{min}	Napěťový součinitel minimálních zkratových proudů
i_0	Omezující proud rozdílové ochrany
k_b	Koeficient bezpečnosti
k_c	Koeficient citlivosti
k_d	Činitel překročení statistického nadproudového činitele
k_p	Přídržný poměr relé
n_n	Nadproudový činitel PTP
n_p	Potřebný nadproudový činitel PTP
p_{PTP}	Převod PTP
t_n	Vypínací čas n-té ochrany
t_{n-1}	Vypínací čas ochrany předchozího úseku
u_k	Napětí nakrátko transformátoru
Δi	Rozdílový proud
Δt	Stupeň časové selektivity distanční ochrany
$I >$	1. nadproudový stupeň
$I \geq$	Nadproudové nastavení rozdílové ochrany transformátoru
$I \gg$	2. nadproudový stupeň
$I \gg \gg$	3. nadproudový stupeň
$I \gg \gg \gg$	Zkratový stupeň rozdílové ochrany transformátoru
$I - DIFF \geq$	Náběhová hodnota rozdílového proudu rozdílové ochrany transformátoru
$I - DIFF \gg \gg$	Druhý stupeň rozdílové ochrany transformátoru
S	Celková chyba rozdílové ochrany transformátoru
$TI - DIFF \geq$	Časové zpoždění náběhové hodnoty rozdílového proudu rozdílové ochrany transformátoru
$TI - DIFF \gg \gg$	Časové zpoždění druhého stupně rozdílové ochrany transformátoru
f	frekvence
ASV	Automatika selhání vypínače

BU	Bay unit
CU	Central unit
ČČ	Časový člen nadproudové ochrany
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava
DyZ	Dynamické zatěžování vedení
KČ	Koncový člen nadproudové ochrany
KZL	Kombinované zemnicí lano
MOR	Místní optický rozvod
ms	Milisekunda
OZ	Opětovné zapnutí
PTN	Přístrojový transformátor napětí
PTP	Přístrojový transformátor proudu
QEx	Uzemňovač
QMx	Vypínač ve schématech
Qx	Odpojovač
RČ	Rozběhový člen nadproudové ochrany
ROP	Rozdílová ochrana přípojníc
ŘS	Řídicí systém
s	Sekunda
TAx	Přístrojový transformátor proudu ve schématech
TR	Transformovna
TVx	Přístrojový transformátor napětí ve schématech
vvn	Velmi vysoké napětí
Wxx	Přípojnice ve schématech
zvn	Zvláště vysoké napětí

Úvod

Cílem této diplomové práce je komplexně shrnout řešení systému chránění v elektrických stanicích a provést nastavení rozdílové ochrany přípojnic a ochran transformátorů instalovaných pro chránění stroje T201 v transformovně TR Milín.

V první části práce jsou popsány základní axiomy, kterými se při chránění přenosové soustavy řídíme včetně nutných požadavků na přístrojové transformátory proudu a napětí, které jsou základními prvky pro získání potřebných elektrických veličin zavedených do systému chránění v příslušném vývodu elektrické stanice.

Ve druhé části je popsán systém chránění přenosových vedení v ČR, u kterého je použita filozofie specialistů ČEPS, a.s. Tato filozofie spočívá v nasazení dvou redundantních systémů v podobě distančních ochran na jedno přenosové vedení, čímž docílíme systému místního zálohování. V kapitole popisující problematiku chránění přenosových vedení je také popsán princip funkce distančních ochran, který spočívá ve vyhodnocování impedance poruchové smyčky od místa instalace ochrany po místo, kde se stane porucha na přenosovém vedení. Další podkapitola druhé části pojednává o rozdílové ochraně přípojnic, pro kterou se v elektrických stanicích ČEPS využívá decentralizovaná verze REB500 od výrobce ABB Power Automation AG, Baden. Rozdílová ochrana přípojnic je v elektrických stanicích instalována jako místní záloha distančních ochran přenosového vedení, ale našla svoje uplatnění především z toho důvodu, že distanční ochrany přenosového vedení zachytí poruchu na přípojnici až ve své druhé impedanční zóně, která se většinou pohybuje kolem 0,4 s. Tento čas je samozřejmě nepřijatelný pro udržení stability elektrizační soustavy a proto rozdílová ochrana přípojnic našla svoje opodstatnění v elektrických stanicích. V další části druhé kapitoly je popsán soubor ochran pro použití v elektrických stanicích ČEPS pro chránění transformátorů 400/110/10,5kV, 400/220/35kV a 220/110/10,5kV vycházející z platné normy ČSN 33 3051. Na závěr druhé kapitoly je popsán postup uvádění do provozu systému chránění, který je vzhledem k rozdílné náročnosti zkoušek popsán zvlášť na přenosové/blokové vedení a zvláště pak uvádění do provozu systému chránění transformátoru. Zkoušky transformátorů jsou svou časovou náročností velmi náročné, i pokud se bavíme pouze o rekonstrukci systému chránění, proto jsou v druhé kapitole pro detailnost popsány primární zkoušky transformátoru pomocí externího zkušebního zdroje napětí 3x400V AC v konkrétním nasazení v elektrické stanici TR Milín u stroje T201.

Třetí kapitola se zabývá již konkrétním řešením systému chránění přenosového a blokového vedení. Pro tento popis problematiky byla opět vybrána elektrická stanice TR

Milín, do které jsou zavedeny tři přenosová vedení – V204, V208 a V216 a dvě bloková vedení pro vodní elektrárnu Orlická – V001 a V002.

Ve čtvrté části této diplomové práce je proveden návrh rozdílové ochrany přípojnic včetně systému řešení v elektrické stanici TR Milín. Pro nastavení rozdílové ochrany přípojnic je použita myšlenka, která vychází ze skutečnosti, že rozdílová ochrana přípojnic musí být nastavena na hodnotu menší, než je hodnota minimálního zkratového proudu na chráněné přípojnici, ale zároveň je snahou, aby rozběhový proud rozdílové ochrany přípojnic, při kterém ochrana zapůsobí, byl větší než maximální hodnota jmenovitého proudu nejvíce zatíženého vedení v elektrické stanici. Na základě této myšlenky je proveden návrh rozběhového proudu ochrany. V diplomové práci je pro nastavení systému chránění elektrické stanice TR Milín vycházeno ze zkratových poměrů předaných od provozovatele ČEPS.

V poslední části práce je provedeno nastavení ochrany transformátoru T201 220/110/10,5 kV o výkonu 200 MVA. Při návrhu systému chránění je vycházeno z platných norem ČSN 33 3051, PNE 38 4065 a ČSN EN 60909-0

1 Problematika systému chránění v elektrických stanicích přenosové soustavy

1.1 Základní axiomy chránění přenosové soustavy

Při instalování ochran v české přenosové soustavě se řídíme základními axiomy, které je nutno dodržovat: (1)

1. Vypnutí poruch do 100ms
 - a. Poruchou je zde míněn tzv. „tvrdý zkrat“. Při vysoko ohmových poruchách jako je např. pád vodiče na sněhovou pokrývku nedosahují zkratové proudy kritických hodnot a tudíž připouštíme vypnutí s časem delším než je 100ms.
2. Selektivita ochrany
 - a. Selektivitou ochrany se rozumí vypnutí příslušného vypínače v chráněné zóně, ve které došlo k poruše, aby došlo k vypnutí co nejmenšího úseku elektrizační soustavy a zmenšila se tak pravděpodobnost ztráty stability soustavy.
3. Kritérium n-1 pro ochranné systémy
 - a. Pokud dojde v systému chránění k selhání jedné ochrany, tak jí musí zálohovat ochrana druhá – zálohování ochran rozdělujeme na místní a vzdálené (viz kapitola 1.1.1 a 1.1.2).

1.1.1 Vzdálené zálohování ochran

Při definování pojmu vzdáleného zálohování se dostaneme do rozporu s jedním kritériem, které jsme si zavedli v kapitole 1.1. A sice, že poruchy vypínáme do 100ms. Základní princip vzdáleného zálohování spočívá v tom, že při selhání ochrany v místě A přebírá funkci ochrana v místě B. Ta musí být časově zpožděná pro zachování selektivity vypínání. Více bude tento princip popsán u definice zón chránění distančních ochran v kapitole 2.1.

1.1.2 Místní zálohování ochran

Princip místního zálohování vychází z teorie, že i při selhání jednoho z ochranných systémů se aktivuje systém druhý, který tvoří zálohu v jednom místě a je tak zaručeno vypnutí poruchy v základním čase do 100ms (např. nasazování dvou distančních ochran na přenosové vedení od dvou různých výrobců). Použití místního zálohování vede ke zvýšení

ekonomických nákladů vzhledem k budování dvou redundantních systémů.

Nevypnutí poruchového prvku ještě nemusí být způsobeno selháním ochrany, ale může být způsobeno například mechanickou závadou vypínače, spálenou vypínací cívkou vypínače, přerušeny obvody od měřících transformátorů anebo ztrátou napájecího napětí. Z tohoto důvodu se snažíme, aby byly na sobě tyto dva systémy co nejméně závislé a proto jsou napájeny z různých zdrojů pomocného napětí, proudy jsou vyvedeny z různých jader PTP a napětí ze samostatně jištěných obvodů PTN, vypínací obvody působí na hlavní nebo záložní cívky vypínače.

1.2 Typy poruch v elektrizační soustavě

V elektrizační soustavě se musíme vypořádat s poruchovými stavy, které ohrožují bezpečný provoz všech zařízení, které se využívají v elektrizační soustavě pro přenos elektrické energie od výrobce do místa spotřeby. Poruchové stavy na vedení také můžeme rozdělit podle způsobu uzemnění uzlu, se kterým se síť provozují. Jedná se o síť účinně uzemněné, neúčinně uzemněné a izolované. Vedení s účinně uzemněným uzlem se dimenzují na fázové napětí, jelikož při spojení jedné fáze se zemí zůstává napětí zdravých fází vůči zemi na fázové hodnotě, což je ekonomicky výhodné. Ovšem při spojení jedné fáze se zemí musí být vedení vypnuto v krátkém čase pomocí ochrany nasazených na příslušné vedení vzhledem k vysokému zkratovému proudu. V ČR se provozují jako účinně uzemněné síť zvn a vvn, tzn. síť 400kV, 220kV a v malém zastoupení také síť 110kV, které po dokončení výstavby sítí 220kV v 70. letech 20. století převzaly úlohu uzlově napájených distribučních sítí. Síť izolované nebo neúčinně uzemněné musíme dimenzovat na napětí sdružené, jelikož při spojení jedné fáze se zemí vzroste napětí zdravých fází na napětí sdružené. V ČR používáme síť izolované v rozvodných sítích na hladině napětí vn, tj. od 6 do 35 kV. V těchto izolovaných sítích se platí dražší izolace na napětí sdružené z toho důvodu, abychom mohli provozovat síť paprskově i v případě, že nám v síti vznikla porucha. U sítí neúčinně uzemněných je uzel transformátoru spojen se zemí přes velkou impedanci. Do této oblasti sítí patří například síť kompenzované, u kterých se využívá Petersonova tlumivka pro kompenzaci velkého kapacitního proudu a dále síť, u kterých je uzel vinutí transformátoru spojen se zemí přes rezistanci. Uzemnění přes rezistanci je využíváno především u kabelových sítí. (2) (3)

Mezi poruchové stavy v elektrizační soustavě patří: (1)

- a) **Zkrat** – představuje poruchový stav, u kterého dojde ke spojení dvou nebo tří fází mezi sebou, popřípadě spojení jedné fáze se zemí – u sítí s účinně uzemněným uzlem

nebo neúčinně uzemněným uzlem přes rezistanci. Tento poruchový stav vede k poklesu napětí a ke zvýšení tepelného a silového namáhání elektrických vedení a zařízení v elektrických stanicích. Může ho způsobit degradující stav izolace, povětrností a klimatizační podmínky, popř. mechanické poškození vlivem špatného zacházení lidského faktoru.

- b) **Zemní spojení** – k zemnímu spojení jedné fáze se zemí dochází v sítích izolovaných nebo neúčinně uzemněných. Zemní spojení vede ke vzniku přepětí vlivem přerušovaného zemního spojení a k nebezpečí vzniku mezifázového zkratu.
- c) **Přetížení** – přetížení vodičů a elektrických zařízení vlivem průchodu elektrického proudu vyššího než je dovolené jmenovité zatížení vede k urychlení degradace izolace a zvýšenému tepelnému namáhání.
- d) **Přepětí** – přepětí rozdělujeme na atmosférická a provozní. Atmosférické přepětí je vyvoláno úderem blesku do elektrického vedení, případně do nekrytých zařízení v elektrické stanici. Zatímco provozní přepětí je vyvoláno již zmíněným přerušovaným zemním spojením. Přepětí vede opět k urychlení degradace izolace a vyvolání vzniku zkratu.
- e) **Podpětí** – V případě přetížení, poruchy regulace napětí nebo nedostatečné kompenzace na elektrickém vedení dojde v důsledku vzniku podpětí k proudovému přetížení, které může vyvolat výpadek točivých strojů připojených na příslušné vedení.
- f) **Nesouměrné zatížení** – v důsledku přerušení některé z fází nebo nesouměrnosti zátěže dojde k tomu, že jednotlivé fáze alternátoru jsou zatěžovány různým proudem, což v rotoru alternátoru vyvolá vířivé proudy, které vedou k přehřátí alternátoru.
- g) **Zvýšení kmitočtu** – zvýšení kmitočtu může způsobit porucha regulace výkonu. Při tomto stavu budou chráněná zařízení i další připojené stroje v síti vystaveny mechanickým vlivům.
- h) **Snížení kmitočtu** – stav, ke kterému dojde v elektrické síti vlivem přetížení zdrojů.

1.3 Požadavky na přístrojové transformátory proudu

Přístrojový transformátor proudu (PTP) je určený k převodu měřeného proudu do měřících přístrojů, elektroměrů a ochran. PTP by měl za normálních provozních podmínek zaručit konstantní poměr vstupního a výstupního proudu. PTP používané pro přenos informačního signálu do ochranných zařízení se nazývají jistící PTP a jsou charakterizovány normou ČSN 35 1360 následujícími parametry: (4) (1) (5) (6)

- jmenovitý primární proud I_{1n} od 5 A až do 20kA
- jmenovitý sekundární proud I_{2n} 1A nebo 5A
- krajní provozovací proud, který je 120% jmenovitého primárního proudu
- jmenovitá zátěž P_n
- nadproudový činitel n_n – jedná se o poměr jmenovitého primárního nadproudu a jmenovitého primárního proudu při dané přesnosti
- jmenovitý převod transformátoru proudu $p_{PTP} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}$
- třída přesnosti – jedná se o definovanou třídu, která udává dovolené chyby proudu a úhlu (např.: 5P, 10P)

Pro použití v ČEPS se využívají speciální jistící transformátory proudu, které jsou definovány normou ČSN EN 60044-1 a ČSN EN 60044-6. Jedná se o PTP, které mají více jak jedno sekundární vinutí a splňují požadavky pro sítě s vyššími zkratovými proudy a velkou časovou konstantou ss složky proudu, kde jsou kladeny vyšší nároky na činnost ochrany při přechodových dějích. PTP, které obsahují pouze jedno sekundární vinutí, se používají pouze u integrovaného systému řízení a chránění. (1) (6)

Aby byla zajištěna správná funkce ochran, tak musí výrobce ochran stanovit příslušné požadavky na použité PTP, případně také na spojovací vedení mezi ochranou a příslušným PTP. Moderní ochrany jsou schopny pracovat i s určitým zkreslením vstupních proudů od PTP. Tyto meze se ovšem liší jak použitým typem ochrany, tak i výrobcem této ochrany. Proto je vhodné při volbě PTP vycházet z požadavků zvoleného systému chránění. Jedná se například o následující požadavky od výrobců ochran, které mohou být dány zběžným výpočtem podle starších norem nebo přesnějším výpočtem podle normy ČSN EN 60044-6, který bude uveden níže: (1) (6)

- velikost potřebného nadproudového činitele n_p musí být zajištěna podle rovnice 1.1 ve vztahu k minimální velikosti nadproudového činitele, kterou požaduje výrobce pro příslušný typ ochrany.

$$n_p = \frac{I_K}{I_{1n}} \cdot \frac{(R_{ct} + R_b)}{R_s} \cdot K_{td} \quad (1.1)$$

Kde je:

I_K	Primární zkratový proud protékající přes PTP
I_{1n}	Jmenovitý primární proud PTP
R_{ct}	Odpor sekundárního vinutí
R_b	Jmenovitá odporová zátěž
R_S	Celkový odpor sekundárního obvodu $R_S = R_{ct} + R_{bs}$
R_{bs}	Skutečná zátěž
K_{td}	Jmenovitý činitel pro dimenzování pro přechodné stavy

- požadovaná velikost limitního napětí U_{lim} a limitního proudu I_{lim} definovaná rovnicí 1.2

$$U_{lim} \geq k_d \cdot \frac{I_{1n}}{p_{PTP}} \cdot (R_2 + R_p) \quad (1.2)$$

Kde je:

k_d	Činitel překročení statistického nadproudového činitele reprezentující poměry X/R v soustavě
p_p	Převod PTP
R_2	Činný odpor sekundárního vinutí PTP
R_p	Činný odpor vedení od PTP
I_{1n}	Jmenovitý primární proud PTP

V případě, že nejsou k dispozici požadavky na dimenzování PTP od výrobců ochran, pak je zapotřebí pro sítě na hladině napětí vvn a zvn vyjít z toho, že ochrany vyžadují nezkreslený přenos proudu.

1.4 Požadavky na přístrojové transformátory napětí

Požadavky na měřicí a jistící přístrojové transformátory napětí (PTN) jsou uvedeny v normě ČSN 35 1360. Jedná se především o tyto parametry: (5) (6)

- Jmenovité primární napětí – u třífázových a dvoupólově izolovaných PTN musí odpovídat některé hodnotě z jmenovitých napětí elektrických stanic, podle toho na jakou hladinu napětí jsou PTN instalovány (110kV, 220kV, 400kV). U třífázových uzemněných a jednopólově izolovaných PTN musí také odpovídat některé hodnotě z jmenovitých napětí U_n elektrické stanice, ale v poměru $\frac{U_n}{\sqrt{3}}$.

- Jmenovité sekundární napětí – u třífázových a dvoupólově izolovaných PTN je toto napětí ve většině případů rovno 100V. U třífázových uzemněných a jednopólově izolovaných PTN je sekundární napětí rovno ve většině případech $\frac{100}{\sqrt{3}}$, výjimečně pak $\frac{110}{\sqrt{3}}$.
- Jmenovitá zátěž PTN – tato hodnota musí odpovídat některé z hodnot v následující jmenovité řadě zdánlivého výkonu (10;15;25;30;50;75;100;150;200;300;400;500 VA).
- Jmenovitý sekundární účinník PTN – $\cos \varphi_n = 0,8$
- Třída přesnosti PTN – třídy přesnosti jisticích PTN jsou 3P a 6P, které mají následující dovolené chyby napětí a úhlu.
 - a. 3P – chyba napětí $\pm 3\%$, chyba úhlu 120 minut
 - b. 6P – chyba napětí $\pm 6\%$, chyba úhlu 240 minut
- Značení svorek PTN – písmeny *A, B, C* se značí izolovaná svorka a svorka, která je v provozu uzemněná se značí písmenem *N*. Sekundární svorky se značí malými písmeny *a, n*.
- Jištění PTN – pojistky nebo jističe musí být instalovány ve všech neuzemněných fázích a to co nejbliže ke svorkám sekundárního vinutí PTN. V případě, že je obvod zapojen do otevřeného trojúhelníka, tak se instaluje na tento obvod pouze jednopólový jistič. V případě zapojení sekundární strany PTN do hvězdy se použije trojfázový jistič s pomocným kontaktem, který bude vysílat poruchový signál do systému chránění s informací o ztrátě měřeného napětí.

2 Typizované systémy chránění pro konkrétní případy přenosové soustavy a postup uvádění do provozu

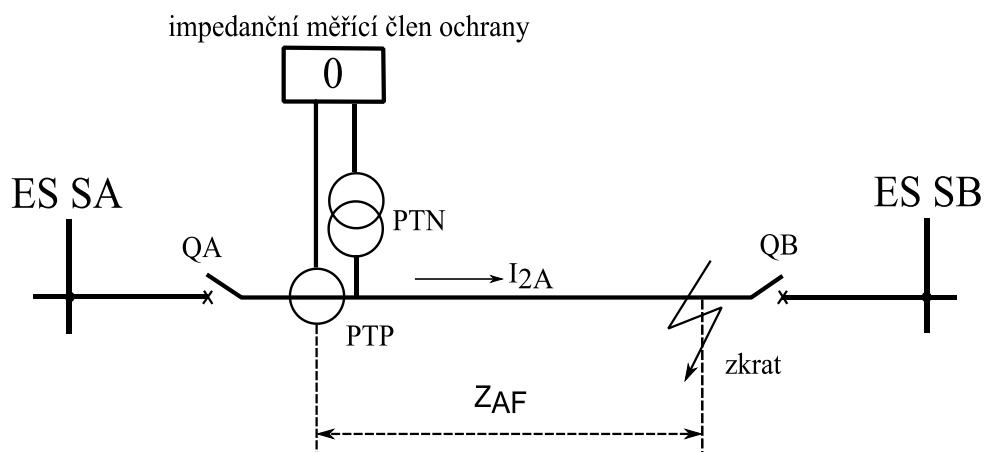
2.1 Ochrany přenosového vedení

U přenosových vedeních ČEPS 400 kV a 220kV je v dnešní době odzkoušena a certifikována kombinace první distanční ochrany REL670 a druhé distanční ochrany SEL421. Nemluvíme v tomto smyslu o hlavní a záložní ochraně, nýbrž o dvou ochranných systémech, které jsou redundantní a plní stejnou funkci. Odborníci ČEPS sekundární techniky aplikují ochrany od různých výrobců z čistě praktických důvodů, jelikož každý výrobce má na danou problematiku jiný úhel pohledu, odlišné metody měření a tudíž každá z těchto ochranných chápe fyzikální zákony na vedení z jiného pohledu a může tedy dojít k tomu, že jedna z ochranných poruchu nezaznamená, zatím co druhá jí bez problémů vyhodnotí. Tomuto systému redundantního nasazování dvou distančních ochranných říkáme *místní zálohování*. Nasazování distančních ochranných je dáno z historického hlediska vývojem naší přenosové soustavy. Jelikož jsou zpravidla v našich elektrických stanicích instalované PTP a PTN před vývodovým odpojovačem směrem do pole odbočky a nemáme je předsunuté směrem z pole odbočky do linky vedení, tak musíme na takto řešené vedení instalovat distanční ochrany, které měří impedanci poruchové smyčky podél vedení na místo využití srovnávacích ochranných, které pro svoji činnost potřebují znát velikost proudu na obou koncích přenosového vedení.

(7)

Jak již bylo uvedeno výše, tak distanční ochrany vyhodnocují impedanci poruchové smyčky od místa instalace ochrany po místo, kde se stane porucha na přenosovém vedení. Tento princip spočívá ve sledování podílu poruchových veličin $\frac{\overline{U_A}}{\overline{I_A}}$, který reprezentuje impedanci poruchové smyčky $\overline{Z_{AF}}$. Impedance poruchové smyčky roste směrem od místa instalace ochrany. Může tedy dojít ke stavu, že při poruše přímo v elektrické stanici bude hodnota $\overline{Z_{AF}} = 0$. Většinou je impedanční měřící člen ochrany připojený k chráněnému vedení přes přístrojový transformátor proudu (PTP) a přístrojový transformátor napětí (PTN) na jejich tzv. „ochranová“ vinutí. Potom je impedance poruchové smyčky vedení $\overline{Z_{AF}}$ měřena ochranou v sekundárních hodnotách. Pokud zanedbáme nepřesnost, kterou vnáší do měření $\overline{Z_{AF}}$ PTP a PTN jejich převodem můžeme psát vztah (8):

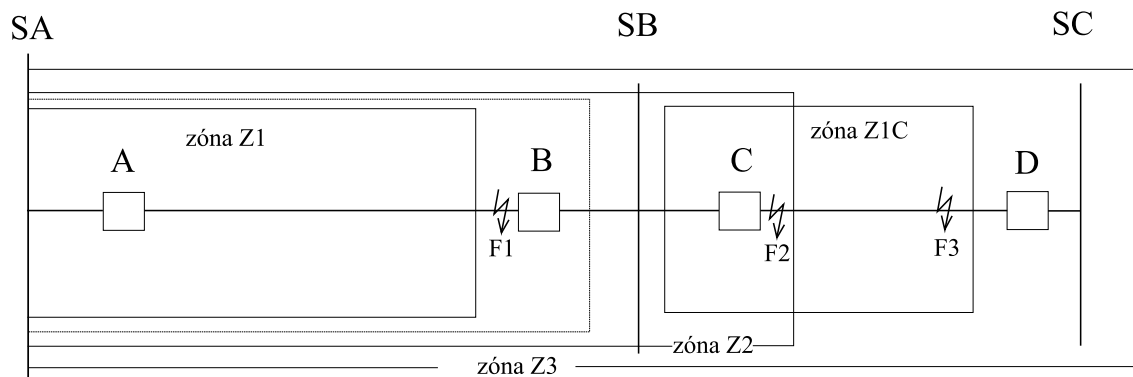
$$t = f\left(\frac{\overline{U_{2A}}}{\overline{I_{2A}}}\right) = f(\overline{Z_{2F}}) \quad (2.1)$$



Obrázek 2.1 Měření impedance poruchové smyčky

Ideální dosah distanční ochrany A je na obrázku 2.2 znázorněn čárkovanou čarou. Vzhledem k tomu, že dochází k nepřesnostem při měření $\overline{Z_{AF}}$ vlivem nepřesnosti ochrany, PTP a PTN tak nemůže být dosah distanční ochrany A v celé délce vedení až po stanici SB. Pokud by tomu tak bylo, tak při poruše mezi stanicemi SB a SC by mohlo dojít k neselektivnímu působení ochrany A, tzn., že pokud by byla distanční ochrana A nastavena na 100% impedanční délky vedení, tak by mohlo dojít vlivem výše popsaných nepřesností k vypnutí vypínače pro vedení mezi stanicemi SA-SB. Z tohoto důvodu se v praxi distanční ochrana A nastavuje na 80% délky příslušného vedení, ve kterém daná ochrana působí. Poruchy v první zóně distanční ochrany jsou ochranou vypínány bez zpoždění. Z obrázku 2.2 je dále patrné, že poruchy nacházející se na vzdáleném konci chráněného vedení již leží ve 2. zóně, která je úmyslně nastavena s přesahem za protilehlou elektrickou stanicí, aby se naopak zajistilo, že ochrana vypne spolehlivě jakoukoliv poruchu na chráněném vedení. Ve 2. zóně je působení ochrany zpožděno, aby bylo zajištěno, že poruchy generované na začátku odchozího vedení z protilehlé elektrické stanice budou dříve vypnuty ochranami tohoto odchozího vedení. Pokud tedy dojde k poruše v oblasti mezi koncem zóny Z1 a stanicí SB, tak se již nacházíme v zóně označené Z2, která vypíná s časovým zpožděním oproti zóně Z1. Dále platí, že zóna Z2 nesmí překročit dosah ochrany C označený jako zóna Z1C, aby bylo zajištěné selektivní vypínání poruch od konce zóny Z2 po konec zóny Z1C. Ochrana A tedy plní funkci místní ochrany v chráněném vedení, ve kterém je naistalována a zároveň slouží jako vzdálená záloha pro následné vedení za sousední elektrickou stanicí v případě selhání ochran odchozího vedení z protilehlé elektrické stanice. Aby byla zajištěna záložní funkce distančních ochran pro celé odchozí vedení, tak jsou distanční ochrany většinou vybaveny ještě 3. zónou, která je nastavena tak, aby její dosah přesahoval s dostatečnou

rezervou až za protější elektrickou stanicí odchozího vedení. Ve 3. zóně je opět čas působení ochrany zpožděn oproti času působení ochrany ve 2. zóně. (8)



Obrázek 2.2 Zóny chránění distančních ochran

Aby bylo zajištěno chránění celého vedení v krátkém čase, tak jsou v dnešní době distanční ochrany vybaveny komunikací, pro kterou se využívají přenosová zařízení PCM. Pomocí této komunikace si vyměňují informace, zda vygenerovaná porucha leží na chráněném vedení či nikoliv. Tímto způsobem je zajištěna selektivita vypínání. Pokud dojde například k poruše s umístěním F1 na obrázku 2.2, tak se již nacházíme ve 2. zóně distanční ochrany A. Distanční ochrana B tedy měří menší impedanci a vyšle ochraně A informaci, že porucha leží na chráněném vedení mezi nimi. Ochrana A na začátku vedení si na základě této informace upraví vypínací charakteristiku a vypíná i poruchu, která leží v její 2. zóně okamžitě bez časového zpoždění. Tento přenos signálů mezi ochranami z jedné strany vedení na druhou stranu se nazývá strhávání ochran. Komunikace pomocí přenosových zařízení PCM bude detailněji popsána v kapitole 3.1.

Jak již bylo uvedeno výše, tak distanční ochrana v zóně Z2 vypíná s časovým zpožděním, který se nazývá stupeň časové selektivity Δt a musí být takový, aby v případě poruchy na předchozím úseku (n-1) zareagovala ochrana tohoto úseku dříve než ochrana následujícího úseku (n-tého). Tato hodnota časového odstupňování by měla být pokud možno co nejmenší, aby se snížilo časové zpoždění, kdy ochrana při poruše zapůsobí. V praxi se tato hodnota pohybuje v rozmezí od 0,25 až 0,5 s v závislosti na typech ochran a vypínačů. (6)

$$\Delta t = t_n - t_{n-1} [s] \tag{2.2}$$

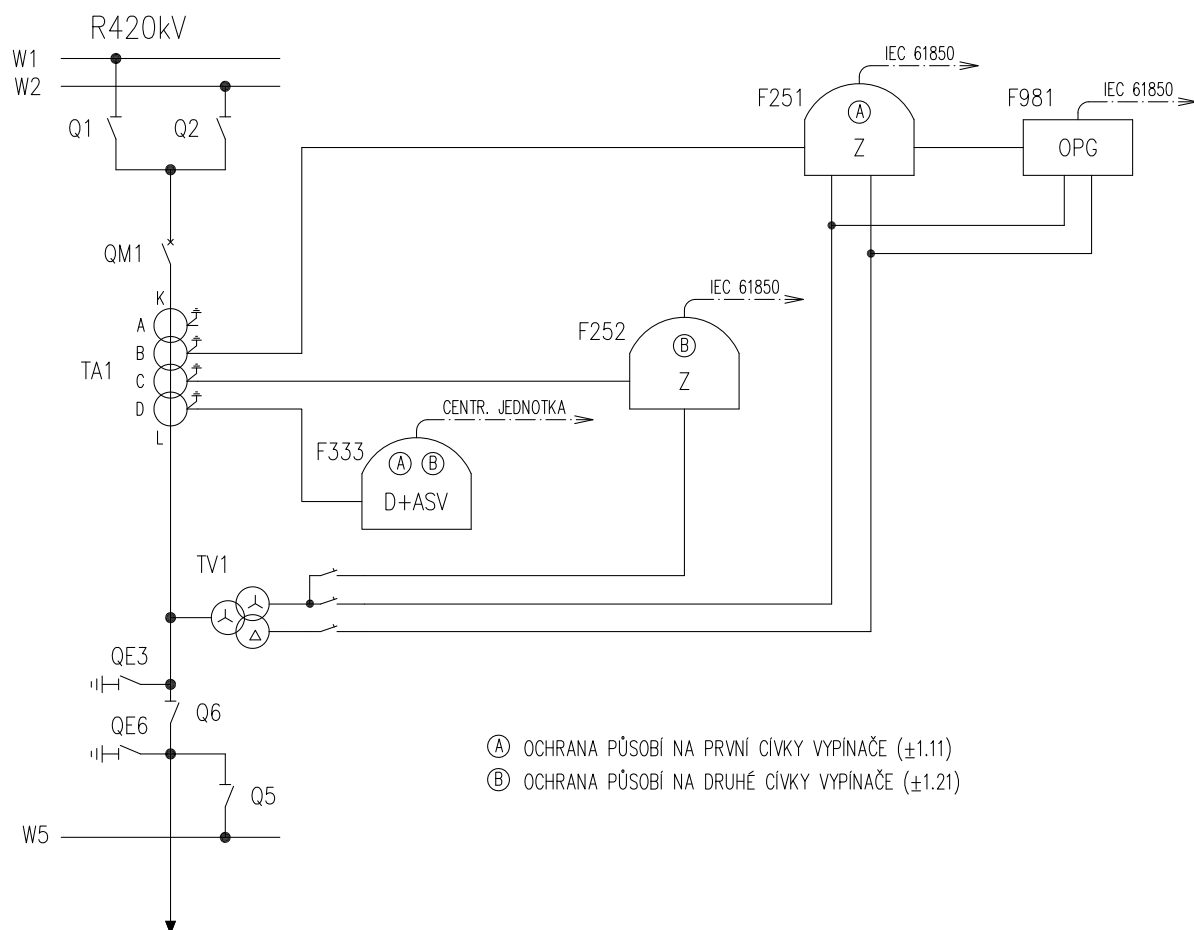
kde:

t_{n-1} vypínací čas ochrany předchozího úseku

t_n vypínací čas n-té ochrany

Δt stupeň časové selektivity

Na obrázku 2.3 je znázorněno připojení 1. distanční ochrany REL670 (ve výkresové dokumentaci ČEPS označena jako F251) a 2. distanční ochrany SEL421 (označené jako F252) k „ochranovým“ vinutím PTP a PTN. U PTP se jedná o „ochranová“ vinutí B a C, které se vyznačují vysokou přesností v oblasti zkratových proudů. Standardně se používá třída přesnosti 5P. Dále je na schématu znázorněné vinutí A PTP, které se využívá pouze k přenosu informačního signálu např. k elektroměrům v obchodním měření. Od těchto vinutích se naopak vyžaduje vysoká přesnost v oblasti jmenovitých proudů a pro proudy vyšší, aby se co nejrychleji přesytily a ochránily tak přístroje při vyšších primárních proudech. Obvykle se na rozvodnách ČEPS setkáme s třídou přesnosti 0,2. Vinutí D PTP se využívá pro rozdílovou ochranu přípojnic (ROP) a automatiku selhání vypínače (ASV) se stejnou třídou přesnosti jako vinutí B a C. (6) (7)



Obrázek 2.3 Blokové schéma ochran přenosového vedení 400kV (220kV)

2.1.1 Rozdílová ochrana přípojnic (ROP) a automatika selhání vypínače (ASV)

V kapitole 2.1 byl popsán systém chránění přenosového vedení pro který se v české přenosové soustavě využívají distanční ochrany. Pro vysvětlení zařazení ROP do systému chránění přenosových vedení se vrátíme k obrázku 2.2, na kterém je patrné, že pokud dojde k poruše v elektrické stanici SB, tak tuto poruchu zaznamená distanční ochrana A až ve druhé zóně, která se v praxi většinou pohybuje okolo 0,4s. Vypnutí vypínače při poruše na přípojnicích v elektrické stanici je po takovém čase nepřipustné vzhledem ke stabilitě elektrizační soustavy. Z tohoto důvodu nasazujeme do elektrických stanic rozdílové ochrany přípojnic, jejichž hranicí chráněného úseku jsou přístrojové transformátory proudu, do jejichž sekundárních obvodů je ROP v jednotlivých vývodech připojena. (8)

Princip funkce ROP spočívá v porovnávání proudů na všech koncích chráněného zařízení a vysílání vypínacího impulsu na vypínač. Chráněné zařízení můžeme v tomto případě chápat jako uzel, který má dva a více konců. ROP tedy provádí součet proudů na všech koncích chráněného zařízení a v případě, že součet proudů vstupujících do uzlu se nerovná součtu proudů z uzlu vystupujících, tak ochrana tento stav vyhodnotí jako poruchový v podobě rozdílového proudu a vyšle vypínací impuls na vypínač (proud v případě poruchy protéká ve směru s menším odporem, tzn. směrem k poruše a součet proudů tedy bude nenulový). Na každý vývod je nasazena jedna vývodová jednotka ROP, která snímá proud z PTP instalovaný na chráněném vedení, sbírá informaci o stavech odpojovačů a případně vysílá vypínací impuls na vypínač. Od jednotlivých vývodových jednotek potom sbírá informace centrální jednotka ROP, která má tak přehled o tom, jaké vývody jsou v provozu a do které přípojnice jsou zapojeny. V případě vzniku poruchy, vydá centrální jednotka příkaz příslušné vývodové jednotce k vyslání vypínacího impulsu na vypínač. Pro vyslání vypínacího impulsu musí být splněna podmínka, že vzniknul rozdílový proud a proudy ve všech přívodech chráněného zařízení tečou stejným směrem (směrem k poruše). Samozřejmě se opět řídíme kritériem selektivity a vypínáme vždy nejmenší možnou část rozvodny, tzn. pouze přípojnice, které jsou v poruše. (9)

ROP bývá v praxi zpravidla doplněna automatikou selhání vypínače, která využívá stejný hardware jako ROP – potřebuje znát proudy ve všech vývodech, stavy odpojovačů v elektrické stanici a musí být schopna vyslat vypínací impuls na všechny vypínače v elektrické stanici. ASV měří proud chráněným vypínačem a monitoruje, zda po vyslání vypínacího impulsu došlo k vypnutí vypínače. ASV tedy začíná časovat v momentu, kdy dojde k vyslání vypínacího impulsu na chráněný vypínač od příslušné vývodové jednotky

ROP+ASV, který by měl přerušit průtok proudu do nastaveného času. Pokud nedojde k odpojení poškozené části od zbytku soustavy do nastaveného času např. z důvodu poškození vypínače, tak ASV vyhodnotí selhání vypínače a vyšle vypínací impuls na všechny vypínače v příslušných vývodech, které jsou zapojeny na stejnou přípojnicí jako vývod s vadným vypínačem. O tom, které vývody jsou v provozu a přes kterou přípojnicí má přehled centrální jednotka ROP+ASV, která dostává informace o stavech odpojovačů od vývodových jednotek ROP+ASV.

Nasazování funkce ASV do ROP je opět způsob místního zálohování na přenosovém vedení. V případě, že by došlo k poškození vypínače a neměli bychom k dispozici funkci ASV, tak by došlo k vypnutí poruchy od distanční ochrany přenosového vedení v její druhé impedanční zóně, tedy až po uplynutí doby 0,4s. To by mělo dopad na stabilitu elektrické soustavy a samozřejmě také na úroveň destrukce příslušných zařízení. ROP+ASV bude detailněji popsána v kapitole 4.1 v konkrétním nasazení na rozvodně TR Milín.

2.2 Ochrany blokového vedení

U blokových vedení ČEPS je v dnešní době používána kombinace podélné rozdílové ochrany vedení 7SD610 (Siemens) a distanční ochrany REL670 (ABB). Tyto ochrany řeší poruchy na blokovém vedení zpravidla trojfázově s definitivním vypnutím, tedy bez funkce OZ. (7)

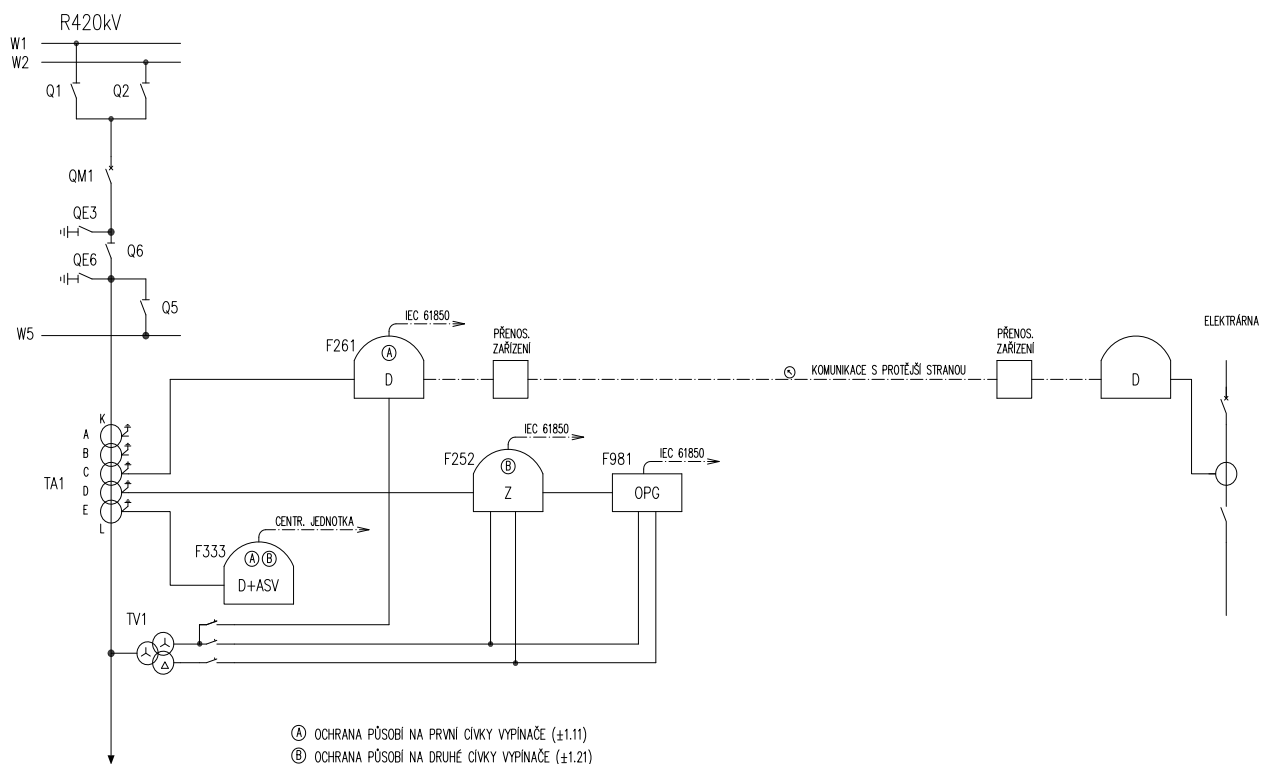
Na obrázku 2.4 je patrný rozdíl oproti přenosovým vedením, který již byl nastíněn v předchozí kapitole. Podélná rozdílová ochrana potřebuje znát pro svoji funkci velikost proudu na obou koncích přenosového vedení a z toho důvodu se instalují na blokovém vedení předsunutě PTP směrem z pole odbočky do linky vedení. (7)

Princip podélné rozdílové ochrany spočívá v porovnávání okamžitých hodnot proudů každé fáze, které vstupují do chráněné oblasti s hodnotami proudů vystupujícími z chráněné oblasti. Pokud by došlo k poruše vně chráněné oblasti - např. porucha na přípojnicích uvnitř elektrické stanice, tak je součet proudů mezi ochranami na obou koncích chráněného vedení roven nule, popř. bude rozdílový proud minimální a ochrana nezapůsobí. V případě poruchy na chráněném vedení se vyvolá velký rozdílový proud a ochrana vypne postižené vedení. (9) (10)

Stejně jako u přenosového vedení, tak i u blokového vedení se využívá pro komunikaci na protější stranu vedení přenosového zařízení PCM30U-OCH a optických přenosových cest v KZL. U blokového vedení je podstatný rozdíl v provozování této komunikační cesty oproti přenosovému vedení, kde je komunikační cesta ve správě ČEPS. A to z toho důvodu, že je

blokové vedení provozováno pouze s vypínačem na straně elektrické stanice a ochrana elektrárenského bloku vysílá impuls vypnutí na vypínač v elektrické stanici. Z tohoto důvodu se k této komunikační cestě mezi elektrárenským blokem a elektrickou stanicí staví specialisti sekundární techniky ČEPS s odporem a ponechávají celou komunikační cestu ve správě připojené elektrárny. (7)

Na obrázku 2.4. je naznačeno zapojení podélné rozdílové ochrany 7SD610 na straně elektrické stanice k „ochranovým“ vinutím předsunutých PTP a PTN na lince vedení, ochrana je na výkrese označena dle zvyklostí ve výkresové dokumentaci ČEPS jako F261. Dále je na obrázku znázorněna komunikační vazba na protější stranu blokového vedení k podélné rozdílové ochraně instalované v elektrárenském bloku. Na obrázku je podle standardu ČEPS také znázorněna distanční ochrana REL670 označená jako F252, která zde slouží jako místní záloha podélné rozdílové ochrany. Princip funkce distanční ochrany byl popsán v kapitole 2.1. „Ochranové“ vinutí D PTP je zde využito pro ROP+ASV stejně jako tomu bylo u ochran přenosového vedení. Princip zařazení ROP+ASV do systému chránění byl popsán v kapitole 2.1.1. (7)



Obrázek 2.4 Blokové schéma ochran blokového vedení 400kV (220kV)

2.3 Ochrany transformátoru

Poruchy transformátorů můžeme rozdělit do dvou skupin: (1)

1. Průchozí poruchy – vznikají vlivem připojených zařízení a způsobují zvýšení teploty vinutí transformátoru.
2. Vnitřní poruchy – poruchy, které vznikají přímo na transformátoru. Můžou se dělit na poruchy, které vznikají náhle – zkraty na svorkách, na vinutí, mezi vinutím a nádobou transformátoru nebo na poruchy, které se objevují pozvolna – špatná izolace plechů, poruchy na chlazení transformátoru, apod. Pozvolné poruchy dokáže v prvotní fázi zachytit pouze plynové relé. Ostatní poruchy, které se objevují náhle, zachycují ochrany, které budou popsány v následujícím textu.

V současné době je pro použití v ČEPS u transformátorů 400/110/10,5kV, 400/220/35kV a 220/110/10,5kV odzkoušen následující soubor ochran, který vychází z platné normy ČSN 33 3051 pro síťové transformátory a jejich odbočky: (7)

1. Rozdílová ochrana transformátoru:
 - a. Siemens 7UT613 pro 3 konce chráněného stroje
 - b. Siemens 7UT6135 až pro 5 konců chráněného stroje
2. Distanční ochrana transformátoru – ABB REL 670
3. Nadproudová ochrana přívodu 400kV – Siemens 7SJ804
4. Naproudová ochrana terciáru – Siemens 7SJ804
5. Naproudová ochrana kabelu 10,5 kV – Siemens 7SJ804
6. Zemní ochrana nádoby transformátoru (kostrová ochrana) – Siemens 7SJ804
7. Relé pro detekci zemního spojení v terciáru – relé monitorující napětí řady 3UG Siemens – jedná se pouze o signalizaci zemního spojení v terciáru transformátoru. Na obrázku 2.6 označeno jako F413.

Princip distanční ochrany byl zmíněn v kapitole 2.1 a zde již nebude dále popisován. Na obrázku 2.6 je znázorněno připojení distanční ochrany transformátoru označené jako F252, u něhož je preferováno připojení na předsunuté PTN TV1 v poli 110kV a PTP v průchozkách transformátoru označené jako TA3. Toto zapojení vychází z potřeby dálkového zálohování odchozích vedeních 110kV.

2.3.1 Rozdílová ochrana transformátoru

V následujícím textu bude popsán princip rozdílové ochrany transformátoru na jednofázovém transformátoru se dvěma vinutími. Základní princip rozdílové ochrany

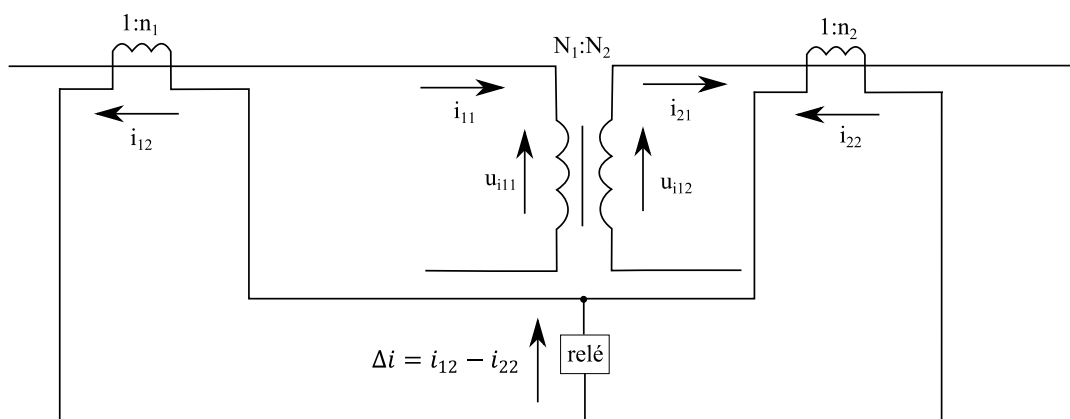
transformátoru spočívá v porovnávání okamžitých hodnot proudů na všech koncích chráněného transformátoru. Za normálních provozních podmínek je součet těchto proudů nulový. Ovšem v případě vzniku poruchy uvnitř chráněného objektu dojde k rozdílu těchto proudů a vznikne rozdílový proud, který ochrana porovná s nastavenou hodnotou. Pokud tento rozdílový proud překročí nastavenou hodnotu, tak ochrana vyše vypínací impuls na výkonový vypínač a odpojí transformátor na primární i sekundární straně transformátoru.

(1)

Pokud budeme uvažovat jednofázový transformátor na obrázku 2.5, tak během normálního provozu transformátoru musí být magnetomotorická síla potřebná pro nastavení provozního toku v jádře rovna součtu ampérezávitů primárního a sekundárního vinutí. Pro běžný transformátor tedy můžeme psát vztah (8):

$$N_1 i_{11} = N_2 i_{21} \tag{2.3}$$

kde je i_{11} primární proud transformátoru a i_{21} proud sekundární.



Obrázek 2.5 Princip rozdílové ochrany jednofázového transformátoru

Pokud použijeme PTP s poměry závitů $1:n_1$ na primární straně transformátoru a $1:n_2$ na sekundární straně transformátoru, tak můžeme za normálních provozních podmínek napsat vztah pro proudy na sekundární straně PTP: (8)

$$N_1 n_1 i_{12} = N_2 n_2 i_{22} \tag{2.4}$$

kde jsou i_{12} a i_{22} sekundární proudy PTP.

Po zvolení vhodných PTP, u kterých by platila rovnost $N_1 n_1 = N_2 n_2$ bychom dostali za normálních provozních podmínek rovnost sekundárních proudů PTP osazených na primární a sekundární straně chráněného transformátoru. Ovšem pokud by došlo k vnitřní poruše, tak by tato rovnost neplatila a poruchový proud by byl úměrný rozdílu těchto sekundárních proudů PTP. Můžeme tedy psát vztah pro rozdílový proud: (8)

$$\Delta i = i_{12} - i_{22} \quad (2.5)$$

Při realizaci rozdílové ochrany transformátoru ovšem musíme brát v úvahu, že chyby PTP osazené na primární a sekundární straně chráněného transformátoru nebudou stejné, protože se nedá dosáhnout dokonalého přizpůsobení převodů PTP vzhledem ke standardizovaným převodům tak, aby platila rovnice 2.3. Dále musíme brát v úvahu, že PTP osazené na primární a sekundární straně transformátoru musí mít rozdílný počet závitů na jejich sekundárních stranách. Pokud budeme uvažovat transformátor s regulací odboček pro dosažení požadovaného napětí na výstupu, tak narazíme na další problém při realizaci rozdílové ochrany. V takovém to případě by totiž musely PTP taktéž obsahovat přepínatelné vinutí a jejich převody by se musely měnit úměrně k tomu, jak se budou přepínat odbočky na transformátoru. Vzhledem k náročnosti a ceně se toto přepínání vinutí PTP nerealizuje a nasazují se PTP s pevným převodem, který je určený na základě chráněného transformátoru jeho středním bodem regulačního rozsahu. Z toho vyplývá, že musí rozdílová ochrana respektovat vyrovnávací proudy, které potečou vinutím relé při ostatní polohách přepínače odboček. Výše uvedené komplikace povedou ke vzniku rozdílového proudu již během normálních provozních podmínek transformátoru a musíme ho tedy brát v úvahu již při realizaci rozdílové ochrany transformátoru, aby nedošlo k nežádoucímu odpojení transformátoru. (8)

Z tohoto důvodu se definuje omezující proud, který je v rozdílové ochraně pevně nastavený a dojde tedy k zapůsobení rozdílové ochrany až v případě, pokud rozdílový proud překročí tuto nastavenou hodnotu omezujícího proudu. Definujeme ho jako průměr primárního a sekundárního proudu PTP: (8)

$$i_0 = \frac{i_{12} + i_{22}}{2} \quad (2.6)$$

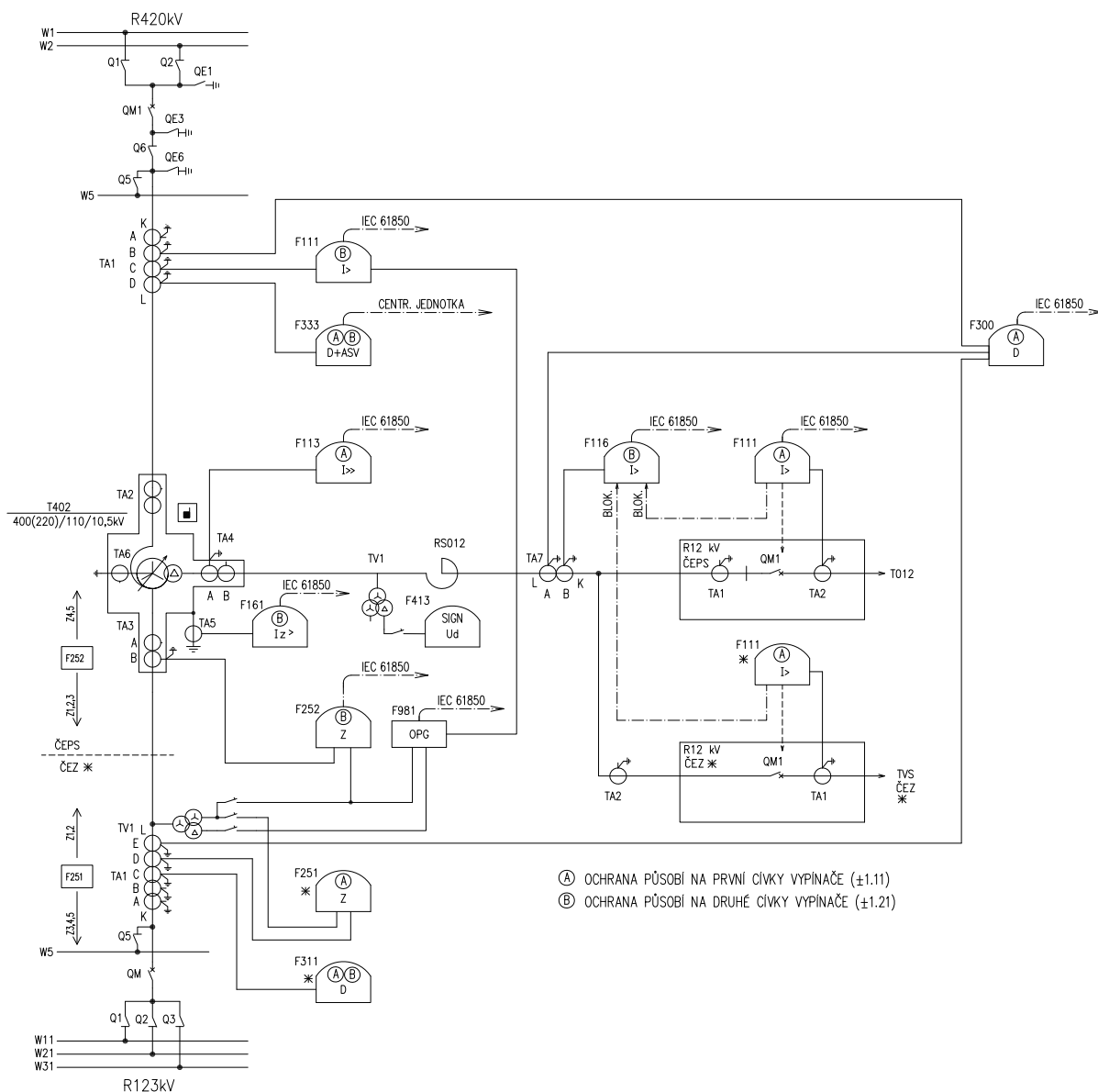
Z výše definovaného tedy vyplývá, že vypínací charakteristika rozdílové ochrany má nastavenou určitou minimální citlivost. Ta musí zajistit, že nedojde k neselektivnímu působení ochrany v případě, že dojde k vyvolání rozdílového proudu chybou PTP. Při regulaci odboček transformátoru je nevyhnutelné vyšší nastavení této minimální citlivosti, aby mohl transformátor pracovat na nejnižším anebo nejvyšším regulačním rozsahu. Minimální citlivost, kdy ochrana ještě nezapůsobí při vzniku rozdílového proudu, musí také odolat nabíjecímu a svodovému proudu vedení. Tento proud totiž při provozu transformátoru naprázdno způsobí na primární straně transformátoru proud, který se neobjeví na druhé straně transformátoru a jeví se proto ochraně jako rozdílový. Dále je také potřeba, aby byly pro zajištění selektivity vypínání rozdílové ochrany transformátoru vybaveny blokováním při zapínacím rázu. Jelikož při zapnutí transformátoru vznikají velké proudové rázy, které se pohybují okolo 6 až 10 násobku jmenovitého proudu transformátoru a jeví se ochraně jako vnitřní porucha. (1) (8)

Pro použití v ČEPS je ovšem zapotřebí nasazovat PTP s více než jedním sekundárním vinutím, jelikož využití PTP s jedním sekundárním vinutím pro měření i ochrany není možné použít tam, kde jsou kladeny na činnost ochrany zvláštní požadavky při přechodových dějích na začátku zkratu. V sítích, kde jsou vysoké zkratové proudy a velká časová konstanta stejnosměrné složky tedy nasazujeme speciální PTP dle ČSN EN 60044-6. Na obrázku 2.6 je znázorněno využití těchto PTP, kde je nasazen PTP TA1 se čtyřmi sekundárními vinutími. Sekundární vinutí A je zde využito stejně jako u přenosového vedení pro přenos informačního signálu k elektroměru v obchodním měření. Vinutí B je zde využito pro měření proudů, které jsou zavedeny do rozdílové ochrany transformátoru. Proudů z vinutí C jsou zavedeny do nadproudové ochrany přívodu a vinutí D je využito stejně jako u přenosového vedení pro ROP+ASV. (6)

U třífázového transformátoru je zapotřebí porovnat proudy ve všech třech fázích samostatně a zavést je z jednotlivých PTP do rozdílové ochrany transformátoru, která provede porovnání všech proudů z jednotlivých konců transformátoru (primár, sekundár, terciár). Pokud je součet proudů vstupujících do transformátoru roven součtu proudů z transformátoru vystupujících, tak je chráněné zařízení bez poruchy a rozdílová ochrana nezapůsobí. (8)

Na obrázku 2.6 je rozdílová ochrana transformátoru označena podle standardů ČEPS jako F300. Na výkrese je znázorněno zavedení proudů z PTP na primární (TA1), sekundární (TA1) a terciární (TA7) straně transformátoru do rozdílové ochrany transformátoru. U terciární strany transformátoru 10,5kV bývají PTP většinou osazeny až za reaktorem, tak jak

je znázorněno na výkresu. Symbolem hvězdičky jsou na výkrese označeny zařízení, které jsou v majetku distribuční společnosti. (7)

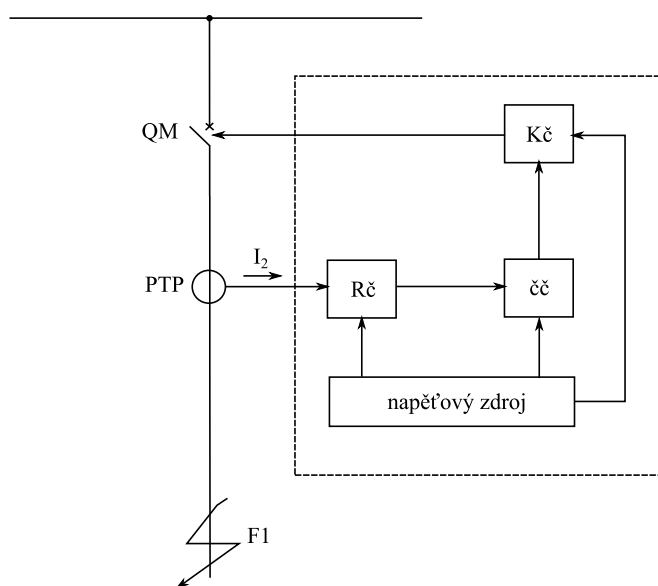


Obrázek 2.6 Blokové schéma ochran transformátoru 400/110kV (220/110kV)

2.3.2 Nadproudové ochrany transformátoru

Nadproudové ochrany reagují na vzrůst proudu v chráněné části vedení a za nastavený čas vysílají vypínací impuls na příslušný vypínač. Tento princip je znázorněn na blokovém schématu (obr. 2.7). Pokud dojde k překročení nastavené hodnoty rozběhového proudu I_{2r} alespoň v jedné fázi rozběhového členu RČ v důsledku vzniku poruchy F1 na vývodu, tak RČ dá impuls časovému členu ČČ, který po nastaveném času vyšle impuls na koncový člen KČ a ten vysílá vypínací impuls na vypínací cívku výkonového vypínače.

Z principu je patrné, že u každého RČ nadproudové ochrany je potřeba nastavit velikost rozběhového proudu I_{2r} a časové zpoždění na ČČ za které se vysílá vypínací impuls. Ochrany Siemens 7SJ804 certifikované pro použití v ČEPS obecně obsahují 4 typy nadproudových funkcí: nesměrová fázová, nesměrová zemní, směrová fázová a směrová zemní. Směrové ochrany vyhodnocují oproti nesměrovým také navíc směr toku výkonu. Potřebují znát tedy pro svojí funkci napětí od PTN. Každá z uvedených ochranných funkcí má 3 stupně, pro které je možné nastavit hodnoty proudů a časové zpoždění vypnutí. Tyto hodnoty jsou závislé na konkrétním použití ochrany. (8) (11)



Obrázek 2.7 Blokové schéma nesměrové nadproudové ochrany (8)

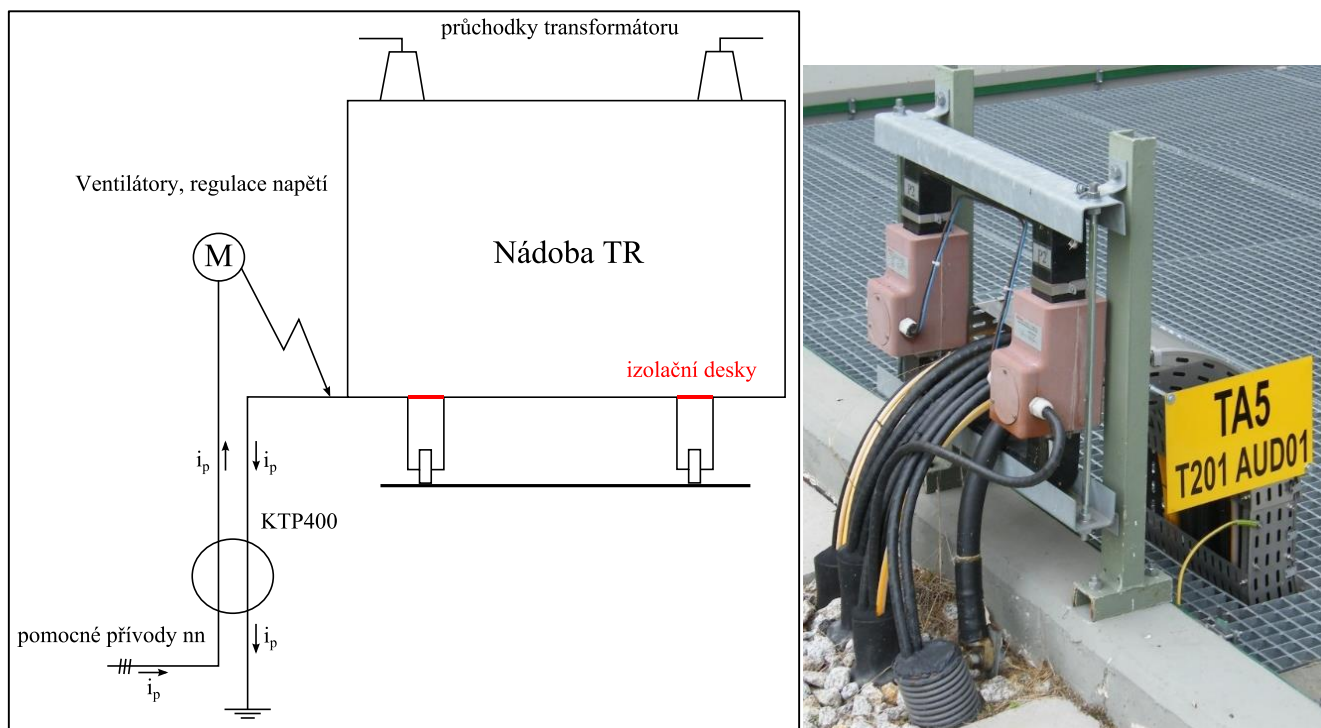
Na obrázku 2.6 je znázorněno blokové schéma ochrany transformátoru, na kterém je znázorněno také připojení nadproudových ochrany Siemens 7SJ804. Na výkrese je označena nadproudová ochrana přívodu 400kV jako F111 do které jsou zavedeny proudy ze sekundárního vinutí C PTP TA1. Nadproudová ochrana přívodu zálohuje distanční a rozdílovou ochranu transformátoru. Dále je nadproudová ochrana přívodu použita pro rozvodnu 12kV (označena také jako F111), která slouží pro vyvedení výkonu k transformátoru vlastní spotřeby. Tato rozvodna je obvykle provedena v zapouzdřené podobě a od průvlekových PTP (na výkrese označené jako TA2) jsou vyvedeny proudy k této ochraně. Nadproudová ochrana terciáru je označena na výkrese jako F113 a jsou do ní zavedeny proudy ze sekundárních vinutí A PTP osazených v terciárních průchodkách stroje. Poslední zmiňovaná nadproudová ochrana ze souboru ochrany transformátoru je nadproudová ochrana kabelu 10,5kV, která je označena na výkrese jako F116 a jsou do ní

zavedeny proudy ze sekundárních vinutí B PTP TA7.

2.3.3 Zemní ochrana nádoby transformátoru

Této ochrany se využívá v sítích, kde je uzel transformátoru účinně uzemněný a chrání transformátor proti přeskokům na průchodkách stroje nebo zemních spojeních při kterých se uzavírá proud přes kostru transformátoru. Jak již bylo uvedeno v předchozím textu, tak pro použití v ČEPS je certifikována jako zemní ochrana nádoby transformátoru ochrana Siemens 7SJ804. Tato ochrana je zapojena na sekundární vinutí průvlekového PTP, kterým je protaženo uzemnění nádoby transformátoru. Průvlekovým PTP jsou dále protaženy také pomocné obvody nn (chladicí ventilátory, regulace odboček, osvětlení), aby nedošlo k chybnému působení ochrany při zkratech v těchto pomocných obvodech. Nadproudová ochrana bude tedy působit při všech poruchách, u kterých se vlivem zkratu dostane napětí na kostru transformátoru a vyvolá se tím proud, který proteče přes průvlekový PTP do země. Z toho vyplývá, že nádoba transformátoru musí být vhodně odizolovaná od země. Dnes se dodávají transformátory s izolační podložkou (např. sklotextitové desky), která je již z výroby umístěna mezi nádobu transformátoru a kolejnice. (1) (8)

V elektrických stanicích ČEPS se většinou využívají PTP typu KTP300 nebo KTP400, kde číslice za typem PTP udává jmenovitý primární proud PTP. (12)



Obrázek 2.8 Zemní ochrana nádoby transformátoru (8)

2.3.4 Plynové relé

Plynové relé, často také nazývané Buchholzovo relé spadá do oblasti ochran stroje, které chrání stroj před zničením nádoby, vinutí, apod. Plynové relé se nasazuje u transformátorů s olejovým chlazením nad výkony 1,7 MVA, tak jak je stanoveno v normě ČSN 33 3051. Toto relé je instalováno mezi víko transformátoru a zásobník oleje. Princip je založen na detekci plynů, které se z oleje při jeho ohřevu uvolňují. Většinou se využívají dva stupně, z nichž jeden pouze signalizuje a druhý posílá vypínací impuls na výkonový vypínač. (1)

2.4 Postup uvádění do provozu systémů chránění

V této kapitole bude popsáno uvádění do provozu ochran, které byly rozebrány v předchozím textu. V jedné kapitole bude popsán postup uvádění do provozu ochran přenosového a blokového vedení, které se od sebe liší pouze v drobných detailech a časová náročnost zkoušek a uvedení do provozu je zhruba 2 pracovní týdny. Zvláště pak bude popsáno uvádění do provozu ochran transformátoru, které jsou specifickou částí systému chránění v elektrických stanicích a jsou především z hlediska časové náročnosti uvedení do provozu na jiné úrovni (zkoušky s uvedením do provozu trvají zhruba čtyři pracovní týdny). Pro uvedení ochran do provozu slouží jako u většiny elektrických zařízení sekundární a primární zkoušky, které zajistí funkčnost daného zařízení. U ochran probíhají jak sekundární, tak primární zkoušky až v elektrické stanice.

Pojmem sekundární zkoušky ochrany rozumíme takové zkoušky, při nichž se zkouší pouze ochranná soustava bez navazujících obvodů na PTP, PTN a vypínače. (6)

Primárními zkouškami ochrany rozumíme takové zkoušky, při nichž se zkouší soustava ochran včetně navazujících přístrojů, jako jsou PTP, PTN a vypínače. Při těchto zkouškách se ověří kromě funkčnosti ochran také správná činnost vypínačů a správné zapojení obvodů PTP a PTN. (6)

2.4.1 Zkoušky ochran přenosového a blokového vedení

Sekundární zkoušky

V elektrických stanicích ČEPS zahajuje sekundární zkoušky ochran odborná firma, která provádí montáž ochran do navazujících sekundárních obvodů elektrické stanice. Montážní firma dostane v první řadě k dispozici neparаметrizovanou ochranu, kterou osadí do rozváděče a připojí k ní sekundární obvody, které ochrana potřebuje pro svoji činnost – stavy vypínačů, stavy odpojovačů, hodnoty proudů a napětí, apod. Záleží samozřejmě na

typu ochrany. Po té co se k dosud neparаметrizované ochraně připojí binární vstupy, proudové vstupy, napěťové vstupy, povelové výstupy a optické rozhraní z ŘS, tak se přistoupí k sekundárním zkouškám, u kterých si montážní firma ověří nejprve funkčnost připojených sekundárních obvodů. Zpravidla se toto přezkoušení provádí ze svorek rozváděče, kde je osazena ochrana směrem do navazující technologie a je dokončeno před sekundárními zkouškami techniků ochrany. Především se jedná o vyzkoušení povelů a signalizací od vypínače, proudových obvodů od PTP a napěťových obvodů od PTN. Tímto způsobem se eliminují chyby ve vnějších a vnitřních spojích. Pokud by nedošlo k přezkoušení těchto metalických spojů, tak bychom nikdy nedokázali zkoordinovat samotné primární zkoušky techniků ochrany, kteří by neustále čekali na případné opravy ve vnějších spojích směrem do vypínače, PTP, PTN a ŘS, případně vnitřních spojích v rozváděči ochrany. Technik ochrany se po tomto vyzkoušení může zaměřit pouze na funkčnost HW ochrany v rámci jeho sekundárních zkoušek a poté se může přistoupit k primárním zkouškám, u kterých již máme částečně ověřenou funkčnost sekundárních obvodů. Není tedy pravda, že by se při sekundárních zkouškách ochrany zkoušela pouze ochranná soustava, tak jak uvádí norma PNE 38 4065, ale částečně k tomuto přistupujeme z důvodu odstranění chyb ve vnějších spojích směrem do technologie. Zkouší se všechny signály, které se přivádí na vstup ochrany, nejdůležitější signály budou pro přehlednost shrnuty v tabulce 2.1 s rozdíly pro přenosové a blokové vedení.

Signál	Význam signálu	
32M1	Stavová signalizace – vypínač, fáze L1 vypnuta	Přenosové vedení
32M2	Stavová signalizace – vypínač, fáze L2 vypnuta	Přenosové vedení
32M3	Stavová signalizace – vypínač, fáze L3 vypnuta	Přenosové vedení
23M	Povel – vypínač QM1 zapnout	Blokové vedení
FCBR	Vypínač připraven pro funkci OZ	Přenosové vedení
H721A	Pokles hustoty SF6 ve vypínači	Přenosové/blokové vedení
H722CLB	Ztráta hustoty SF6 ve vypínači	Přenosové/blokové vedení
H911T	Nesouhlas pólů vypínače	Přenosové/blokové vedení
FCOS	Porucha spojovací cesty	Přenosové/blokové vedení

AV1	Vyslání strhnutí distanční ochrany	Přenosové/blokové vedení
BV1	Vyslání strhnutí zemní ochrany	Přenosové vedení
CV1	Vyslání vypnutí vypínače protější strany vedení	Přenosové vedení
AP1	Příjem strhnutí distanční ochrany	Přenosové/blokové vedení
BP1	Příjem strhnutí zemní ochrany	Přenosové vedení
CP1	Příjem vypnutí vypínače protější stranou	Přenosové vedení

Tabulka 2.1 Přehled signálů distanční ochrany přenosového a blokového vedení (13)

V tabulce jsou znázorněny stavové signalizace vypínače 32M1, 32M2 a 32M3, které jsou pro funkčnost distančních ochran u přenosových vedeních velice důležité pro možnost jednopólového OZ. Revizní technik provádějící zkoušky za montážní firmu si manuálně vypne jednu fázi vypínače a zkontroluje si cestu tohoto signálu až do rozváděče ochran na svorkovnici vnějších spojů. Takto probíhá zkoušení vypínačů u přenosového vedení. U blokového vedení nejsou do ochrany zavedeny stavové signalizace vypínače po fázích. Jelikož ochrany na blokovém vedení vyhodnocují poruchy trojfázově s definitivním vypnutím bez možnosti OZ. Tedy se nezkouší signalizace od vypnuté fáze, nýbrž se zkouší povel vypnutí vypínače 23M z jedné či druhé strany blokového vedení spolu s ověřením vypínacích časů.

Další důležitý signál pro ochranu je signál označený FCBR, ve kterém se slučuje několik podmínek pro to, aby mohlo dojít k úspěšnému OZ – vypínač je nastřádán, ve vypínači není pokles hustoty plynu SF6 (poruchový signál H721A). Pokud by byla nějaká z těchto podmínek porušena, tak nesmí dojít k OZ, protože v případě, že bychom udělali OZ a vypínač by ztratil potřebnou hustotu plynu SF6, tak by došlo k případu, že již tento vypínač nebude schopen vypnout. Takto probíhá zkouška všech potřebných signálů, které jsou zavedeny na vstup ochrany, zkouší se ovšem pouze vyslání signálu na příslušné svorky ochrany bez dalšího zapůsobení ochrany.

Po přezkoušení sekundárních obvodů pokračuje v sekundárních zkouškách ochrany technik ochran, který provede v prvotní fázi parametrizaci ochrany na základě nastavovacích dopisů, které dostane k dispozici od provozovatele zařízení. Po parametrizaci ochrany provede rozpojení svorkovnice vnějších spojů, aby probíhaly jeho zkoušky pouze v rámci rozváděče ochran (návaznosti na technologii již odzkoušela montážní firma v rámci jejich sekundárních zkoušek) a provede připojení měřicího systému pro testování ochran Freja 306

od firmy Programma na svorkovnici vnějších spojů. Tento měřicí systém dokáže vygenerovat třífázový proud až o velikosti 3x15A. (14) Do zařízení si připojí binární, proudové a napěťové vstupy z ochrany a provádí simulaci různých proudových a napěťových bilancí pro odzkoušení jednotlivých funkcí ochrany, jako je např. vypnutí ochrany v požadovaném čase. Dále se pokračuje ve zkoušení poruchových signálů spolu se zapůsobením ochrany. Jedná se například o poruchový signál H911T – nesouhlas pólů vypínače. V případě, že dojde k vypnutí jednoho pólu vypínače a nedojde do nastavené doby k úspěšnému OZ, tak ochrana vypne všechny tři póly vypínače.

Na závěr sekundárních zkoušek se také provádí kontrola skutečného převodu PTP s převodem, který je nastaven v SW ochrany. Osobně si myslím, že kontrola skutečného převodu PTP by se měla provést před samotným objednáním ochrany, protože pokud by došlo k chybě v projektu, tak se tento nedostatek nedá odstranit zásahem do SW ochrany, ale musí dojít k výměně proudové karty ochrany (u ochran přenosových a blokových vedení se používají hodnoty proudových vstupů 1A nebo 5A).

Na závěr sekundárních zkoušek se odzkouší signály z PCM, které jsou pro přehlednost také shrnuty v tabulce 2.1. Tyto signály jsou u distančních ochran potřebné pro komunikaci s ochranou na protější stranu vedení. Pro odzkoušení těchto signálů je potřeba spolupráce dvou techniků – jednoho v elektrické stanici například TR Milín a druhého na konci příslušného vedení, většinou tyto zkoušky probíhají ve spolupráci se stálou službou ČEPS a postupně se provede jednotlivé odzkoušení povelů z PCM na příslušné vstupy ochrany. Zkoušky signálů z PCM probíhají stále na vypnutém vývodu. Podrobněji bude zařízení PCM popsáno v kapitole 3.1.

Primární zkoušky

Primární zkoušky ochran přenosového a blokového vedení se provádějí oproti zkouškám sekundárním již pracovním proudem a napětím při zapnutém silovém zařízení, na kterém jsou ochrany instalovány s připojenými sekundárními obvody na PTP, PTN a vypínače. Primární zkoušky přenosového a blokového vedení tedy spočívají v uvedení příslušného vývodu do provozu, ve kterém jsou zkoušené ochrany instalovány a odzkoušení jednotlivých funkcí ochran, tak jak byly popsány v kapitole sekundárních zkoušek již s pracovním proudem a napětím v návaznosti na osazenou technologii ve vývodu elektrické stanice.

2.4.1.1 Zkoušky ochran transformátoru

Sekundární zkoušky

Stejně jako u ochran přenosového a blokového vedení začíná se sekundárními zkouškami ochran transformátoru montážní firma, která prováděla zapojení sekundárních obvodů od transformátoru do rozváděčů ochran. V úvodu je potřeba upozornit na to, že je podstatný rozdíl mezi uváděním do provozu jednonádobového třífázového transformátoru a transformátoru, který je složen ze tří jednofázových jednotek a jedné rezervní jednotky. V praxi to znamená, že u čtyř jednofázových jednotek musíte všechny sekundární obvody odzkoušet čtyřikrát.

Postup sekundárních zkoušek transformátoru je stejný jako u ochran přenosového vedení s tím, že je potřeba odzkoušet také návaznost na technologii ve všech dotčených stranách transformátoru. Opět tedy zahájí sekundární zkoušky ochran montážní firma, která před nástupem technika ochran ověří správnost sekundárních obvodů transformátoru, jako jsou PTP, PTN instalované v přívodních polích R245kV (R400kV), R123kV a R12kV. Pokud se v rámci rekonstrukce ochran transformátoru provádí výměna nebo zásahy do další technologie jako jsou odpojovače nebo vypínače, tak se v tomto kroku provede i kontrola zapojení pohonů u odpojovačů, případně odzkoušení vypínacích povelů na vypínač, apod. Zde je nutná samozřejmě také koordinace se zařízením, které je v majetku distribuční společnosti na sekundární straně transformátoru (ČEZ, EON). Dále se provede kontrola zapojení vnitřních spojů rozváděčů ochran a případně také přepínání náhradní jednotky (pokud se jedná o transformátor se čtyřmi jednofázovými jednotkami). Na závěr kontroly zapojení vnitřních spojů se provede také odzkoušení poruchové signalizace z rozváděčů ochran do ŘS. Poruchy, které jsou zavedeny do ŘS od ochran transformátoru, budou pro přehlednost uvedeny v tabulce 2.2.

Signál	Význam signálu
H116IF	Nadproudová ochrana kabelu – vnitřní porucha
H161IF	Kostrová ochrana transformátoru – vnitřní porucha
H241T	Plynové relé nádoby transformátoru – vypnutí
H242T	Plynové relé regulace transformátoru – vypnutí
H300IF	Rozdílová ochrana transformátoru – vnitřní porucha
H413A	Zemní ochrana terciáru transformátoru - výstraha
H631T	Nebezpečná teplota oleje transformátoru - vypnutí
H8311TL	Stejnoseměrné napájení 1. vypínacího obvodu transformátoru – ztráta napětí
H8321TL	Stejnoseměrné napájení 2. vypínacího obvodu transformátoru – ztráta napětí
H8301TL	Stejnoseměrné napájení společných obvodů transformátoru (1.01T) – ztráta napětí

Tabulka 2.2 Poruchová signalizace ochran transformátoru (7)

V další části sekundárních zkoušek nastoupí technik ochran, který si opět provede nasimulování proudů a napětí pomocí měřicího systému pro testování ochran Freja 306 a postupně odzkouší funkčnost HW nadproudových ochran, distanční a rozdílové ochrany transformátoru.

Primární zkoušky

Po odzkoušení funkčnosti HW všech dotčených ochran v rámci sekundárních zkoušek se přistoupí k primárním zkouškám transformátoru pomocí externího zkušebního zdroje napětí 3x400V AC. Postup při těchto zkouškách bude pro názornost popsán na elektrické stanici TR Milín pro transformátor T201 ADA03.

Požadovaný stav technologie na straně 245kV:

1. Odpojovač Q1 ADA03 vypnut a zajištěn proti zapnutí
2. Odpojovač Q2 ADA03 vypnut a zajištěn proti zapnutí
3. Odpojovač Q6 ADA03 vypnut a zajištěn proti zapnutí
4. Uzemňovač QE6 ADA03 zapnut – vytvoření uzlu pomocného zkratu
5. Vypínač QM1 ACA07 vypnut a zajištěn proti zapnutí

Požadovaný stav technologie na straně 123kV: (nutná koordinace s distribuční společností, která má tuto technologii ve správě – zde ČEZ Distribuce)

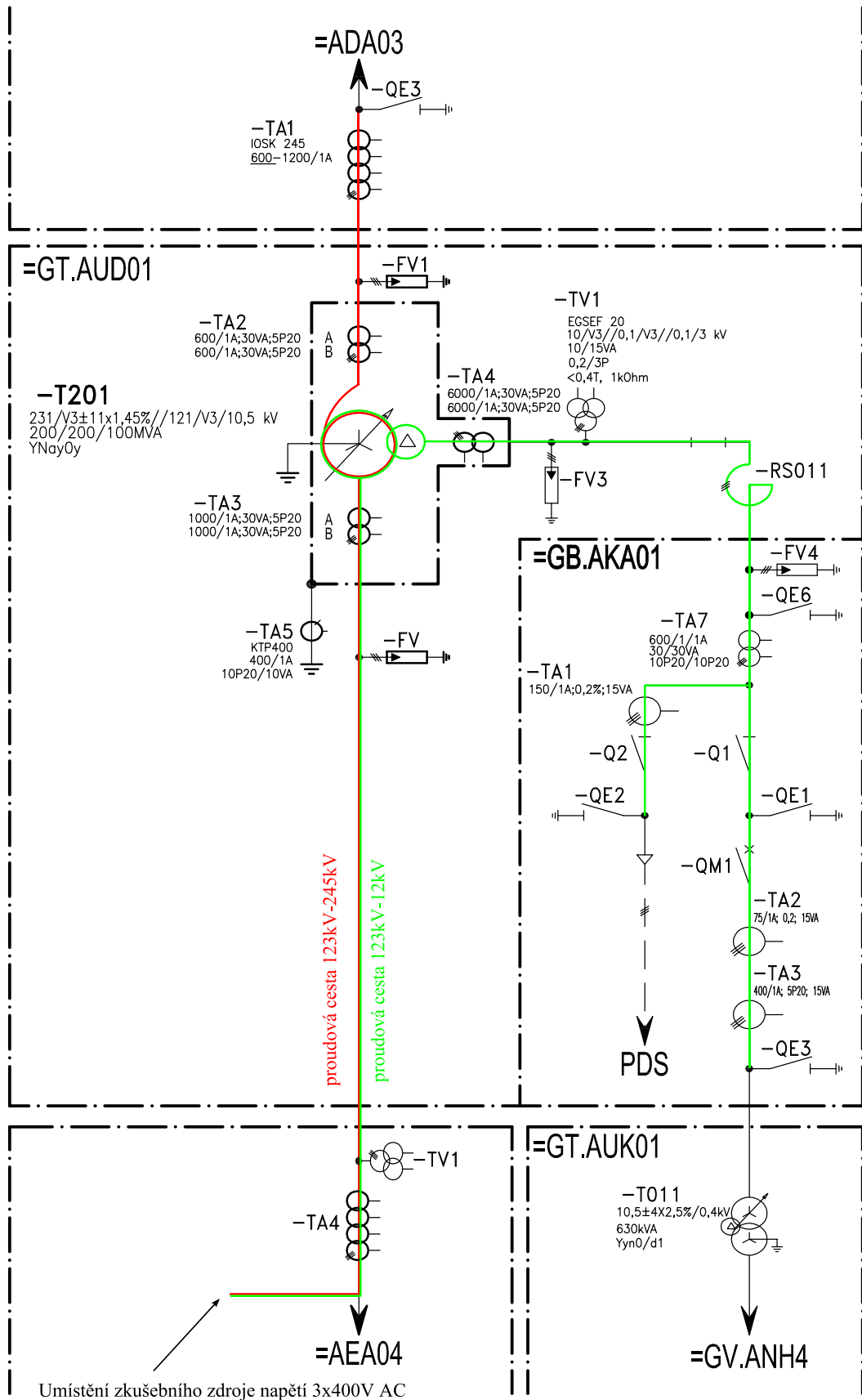
1. Odpojovač Q1 AEA04 vypnut a zajištěn proti zapnutí
2. Odpojovač Q2 AEA04 vypnut a zajištěn proti zapnutí

3. Vypínač QM AEA04 vypnut a zajištěn proti zapnutí

Požadovaný stav technologie na straně 12kV:

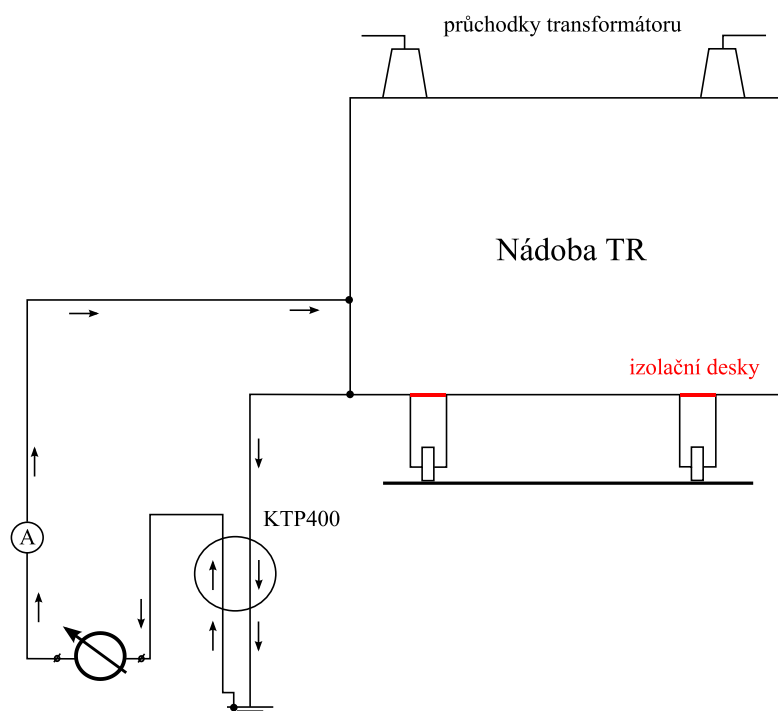
1. Uzemňovač QE6 ADA03 vypnut a zajištěn proti zapnutí. Jako uzly pomocného zkratu budou využity uzemňovače v AKA01.
2. Uzemňovač QE6 AKA01 vypnut a zajištěn proti zapnutí
3. Odpojovač Q2 AKA01 zapnut
4. Uzemňovač QE2 AKA01 zapnut – vytvoření uzlu pomocného zkratu
5. Odpojovač Q1 AKA01 zapnut
6. Uzemňovač QE1 AKA01 vypnut a zajištěn proti zapnutí
7. Vypínač QM1 AKA01 zapnut
8. Uzemňovač QE3 zapnut – vytvoření uzlu pomocného zkratu. Před zapnutím uzemňovače QE3 vypnut uzemňovač QE2.

Po ověření požadovaných stavů technologie pro stranu 245kV a 123kV se provede připojení zkušebního zdroje 3x400V AC na vvn vedení v R123kV mezi PTP TA4 a QM v poli AEA04, tak jak je znázorněno na obrázku 2.9. Po té co se zkontrolují převody a sledy fází všech dotčených PTP a proudové bilance v ochranách transformátoru (proudy přicházející se musí rovnat proudům vycházejícím z transformátoru) na obou stranách 123kV a 245kV, tak se připraví proudová cesta na stranu 12kV podle výše uvedené konfigurace a zapne se vypínač QM1 AKA01. Opět se provede kontrola všech dotčených PTP (sledy fází, převody). Při tomto zkoušení je potřeba trvalé přítomnosti jednoho z pracovníků u zkušebního zdroje, který je v případě potřeby nutno regulovat, popř. vypínat. Po kontrole proudových okruhů transformátoru se zajistí zkušební zdroj proti zapnutí a uvedou se jednotlivé strany transformátoru do požadovaného stavu dle plánu zajištění ČEPS a ČEZ Distribuce.



Obrázek 2.9 Proudová cesta 123kV – 245kV a 123kV – 12kV

Pro odzkoušení kostrové ochrany transformátoru je potřeba použít proudový zdroj 0-400A AC. Nejprve se tento zdroj zapojí skrz průvlekový PTP typu KTP400 a bude se na zdroji regulovat proud až do hodnoty 400A při které kostrová ochrana transformátoru zapůsobí na záložní cívky vypínače (převod KTP je 400/1A). Dále se provede kontrola odizolování transformátoru od země zapojením proudového zdroje skrz KTP mezi uzemnění stroje a nádobu transformátoru, čímž zjistíme správnost odizolování transformátoru od země. Pokud bychom totiž nenaměřili klešťovým ampérmetrem stejný proud, jako vysíláme z proudového zdroje, tak by tomu bylo vlivem špatného odizolování stroje – proudy by unikaly jiným směrem než skrz kostrovou ochranu transformátoru. Princip zapojení proudového zdroje pro odzkoušení správného odizolování stroje je znázorněn na obrázku 2.9.



Obrázek 2.10 Odzkoušení správného odizolování stroje

Na závěr primárních zkoušek transformátoru se provádí vypínací zkoušky technologie. Ověřuje se funkčnost všech vypínačů v elektrické stanici ze všech ochranných transformátorů, které byly popsány v kapitole 2.3. Je potřeba upozornit, že tyto vypínací zkoušky ještě stále probíhají na vypnutém transformátoru. Ověřujeme tedy funkčnost rozdílové ochrany, distanční ochrany a ochranných nadproudových ve spolupráci s příslušnými vypínači. Zkouší se také funkčnost ochranných zapouzdřených rozvodů, která slouží k vyvedení

výkonu z terciáru transformátoru pro transformátor vlastní spotřeby elektrické stanice. U této zapouzdřené rozvodny se zkouší vyslání vypínacího impulsu od nadproudové ochrany přívodu F111 na vypínač v zapouzdřené rozvodně – při zkratu před transformátorem vlastní spotřeby musí dojít pouze k vypnutí vypínače v této zapouzdřené rozvodně, nikoliv k zapůsobení dalších ochranných, aby nedošlo k neselektivnímu vypnutí případně celého transformátoru.

Po ukončení sekundárních a primárních zkoušek transformátoru přichází na řadu samotné uvedení transformátoru do provozu. Pokud se jedná o nový stroj, tak se při prvním zapnutí uvádí transformátor pod napětí do stavu naprázdno po dobu 30 minut. Během těchto 30 minut chodu naprázdno se provádí především pohledová a poslechová kontrola stroje a navazující technologie. Dále se provede kontrola napěťových obvodů, sled fází, kontrola ruční regulace odboček se sledováním změn na straně 110kV a na straně terciárního vinutí – kontrola se provádí až na hladinu napětí 0,4kV k transformátorům vlastní spotřeby. Dále se provede opakované vypnutí a zapnutí výkonového vypínače na primární straně transformátoru, přičemž nesmí dojít k zapůsobení rozdílové ochrany na zapínací ráz. V další fázi se transformátor zapne do přenosu například paralelně k dalšímu transformátoru pomocí kombinovaného spínače přípojnic a zkontrolují se hodnoty proudů na distančních ochránách. Na závěr se transformátor ještě naposled vypne a opět uvede pod napětí k časové zkoušce, která trvá 72 hodin – pouze v případě, že se v rámci uvedení zařízení do provozu nevyskytnou žádné závady vyžadující vypnutí transformátoru.

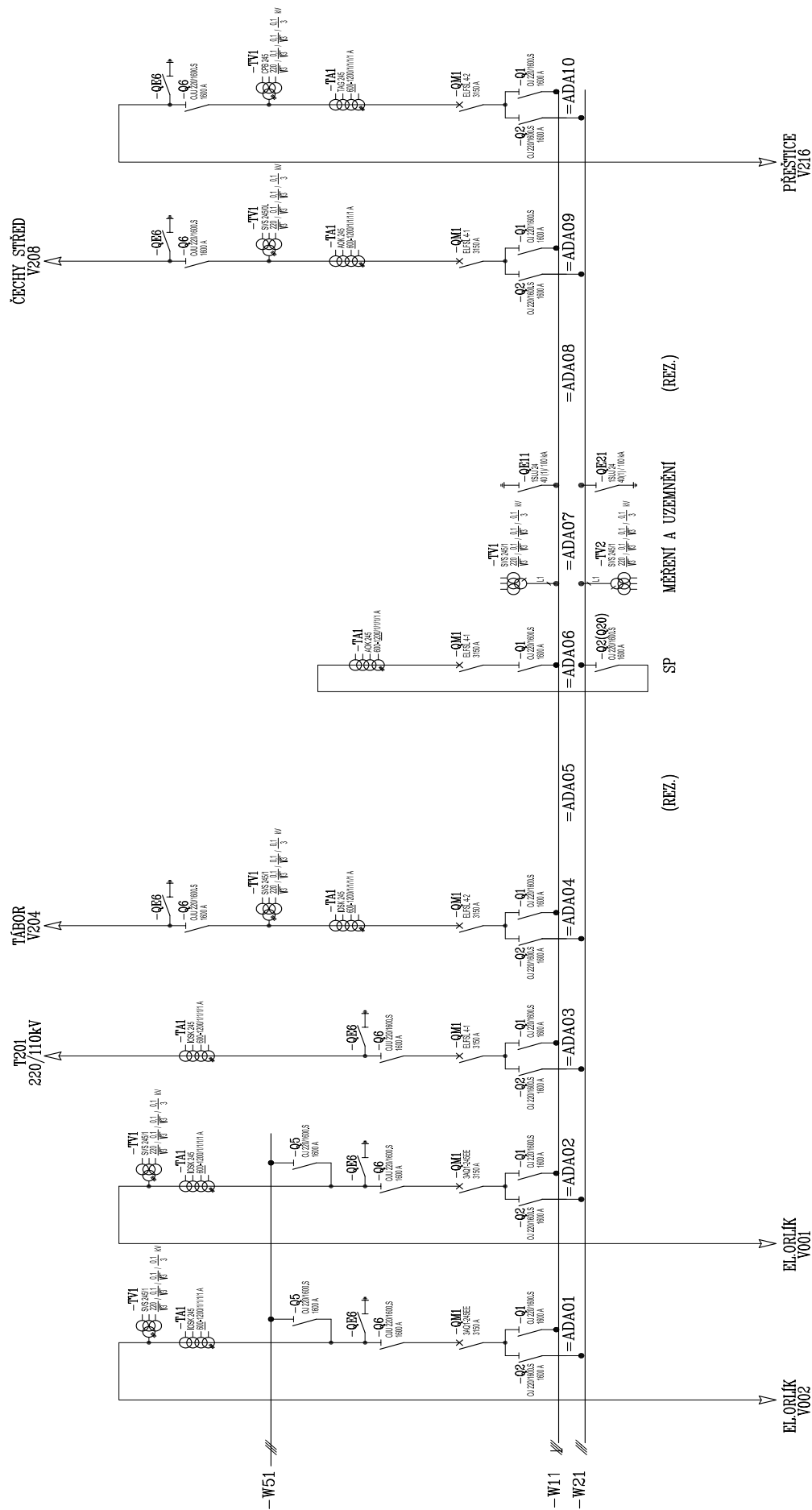
3 Řešení systému chránění pro přenosové a blokové vedení rozvodny R245kV TR Milín

Na rozvodně TR Milín jsou zavedeny tři přenosová vedení – V204, V208 a V216 a dvě bloková vedení pro vodní elektrárnu Orlík – V001 a V002. Jednopolové schéma elektrické stanice TR Milín je na obrázku 3.1.

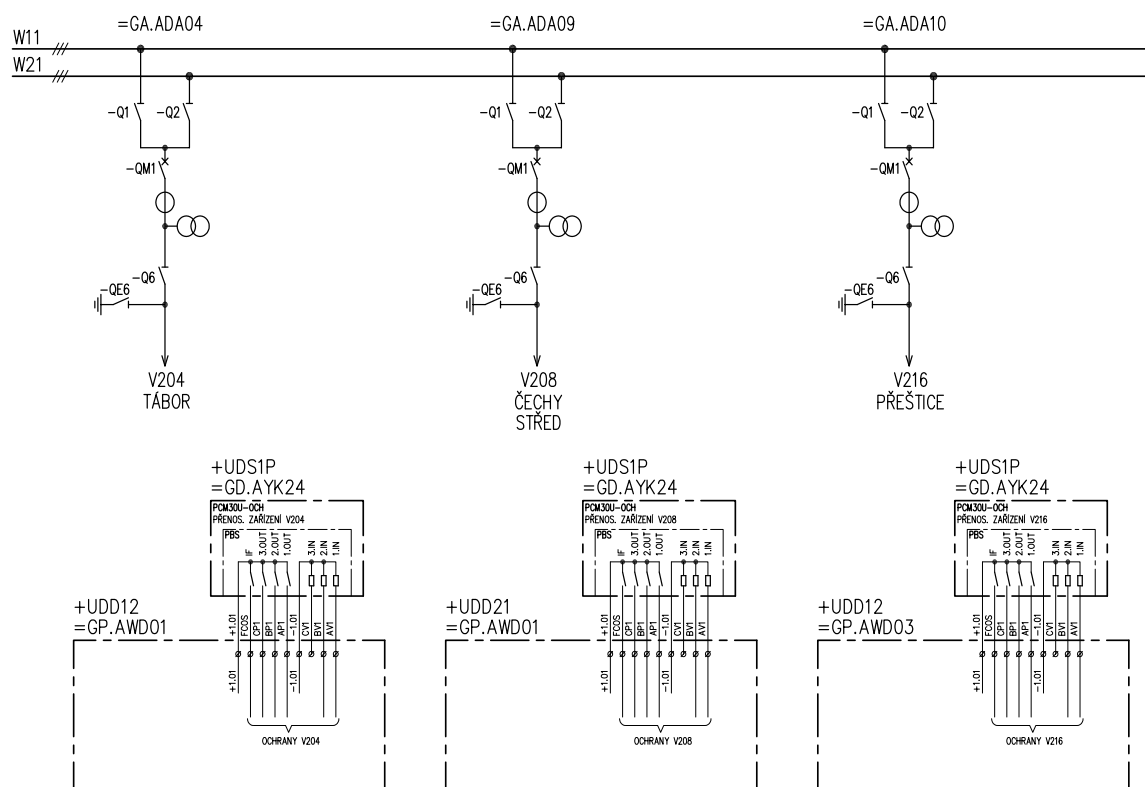
3.1 Systém řešení ochran přenosového vedení na TR Milín

Přenosová vedení V204, V208 a V216 jsou chráněna dle standardu ČEPS dvojicí distančních ochran REL670 a SEL421. Princip funkce distančních ochran byl popsán v kapitole 2.1. Zapojení těchto distančních ochran je na TR Milín v souladu se standardem systému chránění ČEPS, který byl detailněji popsán v kapitole 2.1. To znamená, že distanční ochrany přenosových vedení V204, V208 a V216 označené F251 REL670 jsou připojeny na jádra vinutí B a distanční ochrany označené F252 SEL421 na jádra vinutí C PTP TA1 v jednotlivých vývodech ADA04, ADA09 a ADA10 elektrické stanice. Jádra vinutí D jsou dle standardu ČEPS opět použita pro ROP+ASV. Dále si tyto ochrany berou stavy napětí od PTN TV1. První distanční ochrana působí na první vypínací cívkou vypínače a druhá distanční ochrana vedení na druhé vypínací cívkou vypínače. Současně obsahují vzájemné blokování, které zajistí, že ochrana, která jako první zachytí poruchu na vedení, tak odřídí celý cyklus vypínání včetně OZ. V této kapitole bude detailněji popsán princip strhávání ochran a systém napájení ochran přenosových vedení.

V distančních ochranách jsou integrované automatiky OZ (opětovné zapnutí) a záložní zemní směrová ochrana. Automatika OZ pracuje pouze v jednopolovém režimu. Z toho vyplývá, že dvojpólové a trojpólové poruchy jsou vypínány vždy trojpólově bez možnosti OZ. Pro možnost jednopolového OZ jsou do ochran zavedeny signalizace stavu vypínače po jednotlivých fázích (viz stavová signalizace v tabulce 2.1). V REL670 pracuje zemní směrová ochrana v režimu se strháváním na protilehlou stranu vedení a má nastaveno komunikační zpoždění 100ms. Naproti tomu v ochraně SEL421 pracuje zemní směrová ochrana bez strhávání a má nastaven pouze vypínací čas v řádech sekund. Funkce OZ se dá prioritně zapnout nebo vypnout pomocí paketového přepínače v rozváděči ochran a odstavit tak ovládání OZ z řídicího systému (ŘS). Při vypnutí OZ potom ochrany vývodu vypínají jedno nebo vícefázové poruchy vždy pouze trojpólově s definitivním vypnutím. (7)



Obrázek 3.1 Jednopolové schéma rozvodny TR Milín R245kV



Obrázek 3.2 Princip strhávání distančních ochran na TR Milín

Na obrázku 3.2 jsou znázorněny základní povely, které slouží pro strhávání distančních ochran. Pokud např. dojde k poruše na konci přenosového vedení V204, tak leží porucha ve druhé impedanční zóně distanční ochrany pro vývod V204 v rozvodně TR Milín. Distanční ochrana na druhém konci vedení V204 tedy vyšle povel pro strhnutí AV1 a distanční ochrana na začátku vedení tento povel přijme a upraví si vypínací charakteristiku, tak že vypíná bez zpoždění i poruchu, která leží v její druhé impedanční zóně. Po tom co si distanční ochrana na začátku vedení upraví vypínací charakteristiku a prodlouží si tak svojí citlivost na celé přenosové vedení odhalí, že porucha opravdu leží v chráněném úseku, tak vyšle povel AP1 ochraně na konci vedení V204 – příjem strhnutí distanční ochrany. Nejedná se tedy o dálkové vypínání, nýbrž o změnu citlivosti distanční ochrany, na kterou je kvůli selektivnímu vypínání nastavena.

V případě, že dojde k poruše přenosové cesty a není možné vzájemné strhnutí distančních ochran, tak se ochraně po vyslání povelu AV1 vrátí povel FCOS (porucha spojovací cesty). V tomto případě přejde 1. distanční ochrana do režimu tzv. samostrhnutí, tzn., že při jednopólových poruchách ve druhé impedanční zóně měří s trvalým

prodloužením první impedanční zóny a provádí jednopólové vypnutí včetně funkce OZ. Pokud bude porucha ležet až na vedení za protější rozvodnou, tak budou ochrany předešlého vedení působit nadbytečně, ovšem následně dojde k úspěšnému OZ a nedojde tedy k výpadku. Z tohoto důvodu je na přenosovém zařízení PCM další signál označený jako CV1 – vyslání vypnutí vypínače protější strany vedení.

Přenosové zařízení PCM30-OCH použité na rozvodně TR Milín pro vývody V204, V208 a V216 je totožné pro všechny tři vývody, proto popíši zařízení PCM30-OCH pouze na jednom z vývodů. Přenosové zařízení PCM30U-OCH využívá pro komunikační vazbu na protější stranu vedení sítě tvořené optickými přenosovými cestami po kombinovaném zemnicím laně. Přenos se tedy uskutečňuje po optickém kabelu v rámci SDH sítě. PCM30U-OCH se skládá z centrální jednotky a vývodových jednotek, které umožňují připojení standardizovaných ochran vedení od výrobců ABB, SEL a Siemens. (7)



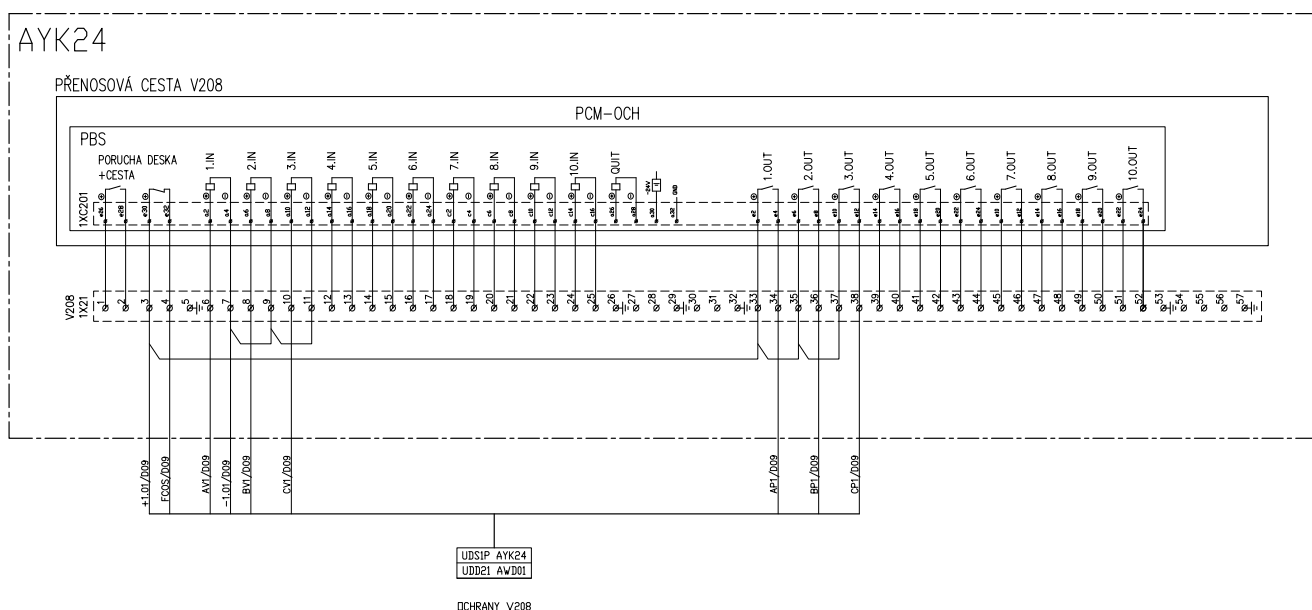
Obrázek 3.3 PCM30-OCH pro V208

Na obrázku 3.3 je fotografie přenosového zařízení PCM30-OCH, které je na rozvodně TR Milín použito pro vývod V208. Z obrázku je patrná sestava PCM, pro kterou je použit typ rámu 3ALC o velikosti 3U a je složena z následujících jednotek: (15)

1. centrální jednotky CJAE. Základem centrální jednotky je multiplex, který slučuje digitalizované povely od ochran z místních kanálových jednotek do toku signálů s rychlostí 2Mbit/s.
2. Napáječe rámu NP110, který vyrábí vnitřní napětí potřebné pro činnost zařízení ze vstupního napětí 48VDC.
3. Jednotka SMI pro SNMP dohled jednoho rámu
4. Jednotky pro přenos povelů – 4PBS. Jednotka 4PBS zajišťuje zabezpečenou a

rychlou komunikaci ochran přenosového vedení V208 – přenos povelů pro strhávání. Doba přenosu povelu je výrobcem udávána mezi 1,5 – 3 ms v závislosti na zvolené přenosové rychlosti. (16)

V jednotce je použito rozhraní pro 4 vstupy a 4 výstupy, které přesně odpovídá potřebám přenesení povelů – FCOS, AV1, BV1 a CV1 na druhou stranu přenosového vedení V208 a zároveň přijetí povelů AP1, BP1 a CP1 od distančních ochran z protější strany přenosového vedení V208. Zapojení povelů od distančních ochran vývodu V208 do přenosového zařízení PCM30-OCH je znázorněno na obrázku 3.4.



Obrázek 3.4 Zapojení vstupních svorkovnic PCM V208

Ochraný přenosového vedení mají pro svoji funkci vyhrazené dva zdroje stejnosměrného napájení, u kterých nesmí dojít ani ke krátkodobé ztrátě napětí. Pro použití v ČEPS se tato stejnosměrná napájecí síť vlastní spotřeby označuje jako I. kategorie – bezvýpadková. Tato stejnosměrná napájecí síť se skládá ze dvou systémů, které jsou napájeny z akumulátorových baterií. Akumulátorové baterie jsou zároveň neustále dobíjeny z usměrňovačů, které jsou napájeny ze zajištěné vlastní spotřeby 400/230V AC. Zajištěná vlastní spotřeba je v elektrické stanici tvořena pomocí dieselgenerátoru, který v případě výpadku některého z přívodů (transformátory vlastní spotřeby napájené z terciáru transformátoru zvn/vvn) do vlastní spotřeby 400/230V AC elektrické stanice zaskočí pomocí automatického záskokového automatu a vytvoří zajištěné napájení právě pro usměrňovače,

ale také bezpečnostní systém TSFO, požárně monitorovací systém PMS, pohony odpojovačů a vypínačů a v neposlední řadě také záložní přívody pro chlazení transformátorů na hladině napětí zvn/vvn. Pro distanční ochranu REL670 je použit 1. okruh napájení 220V DC (napětí 1.11), který je tvořen baterií označenou v elektrické stanici ČEPS jako ATV a usměrňovačem ATW. Tyto rozváděče s usměrňovačem a baterií jsou spolu s napájecím rozváděčem ATP umístěny v domku sekundární techniky určeném pro příslušné vývody elektrické stanice. Pro distanční ochranu SEL421 je použit 2. okruh napájení 220V DC (napětí 1.21) tvořený centralizovaným systémem u kterého má hlavní rozváděč ATJ systém napájení pomocí dvou akubaterií a usměrňovačů, které jsou zapojeny do jedné z polovin rozváděče ATJ. V rozváděči ATJ je podélné dělení tvořené odpojovačem, který se rozepíná pouze při revizi, případně údržbě zařízení. V tomto centralizovaném systému napájení tedy oba zdroje pracují paralelně. Z popisu systému stejnosměrného napájení je patrné, že i při případném výpadku jednoho z napětí 1.11 nebo 1.21 je stále přenosové vedení chráněno jednou z distančních ochrann. Tato napětí odpovídají vypínacím okruhům vypínače, takže každá z ochrann působí na jinou cívkou vypínače, což tvoří opět nezávislou místní zálohu systému chránění. Pro společné obvody ochrann (zapínání vypínače, strhávání ochrann) je využíváno napětí 1.01, které je primárně možno vytvořit v rozváděči ATP. Pomocí paketového přepínače se v rozváděči ATR získá napětí 1.01 z ATP nebo v případě revize se paketovým přepínačem vypne přívod z ATP a napětí 1.01 se získá z rozváděče ATR. Paketový přepínač je zapojen prioritně na polohu napětí 1.01 z 1.11. To znamená, že opět v případě výpadku jednoho z napětí 1.11 a 1.21 jsou nadále funkční společné obvody ochrann.

(7) (17)

3.2 Systém řešení ochrann blokového vedení na TR Milín

Bloková vedení V001 a V002 na vodní elektrárnu Orlické jsou chráněna dle standardu ČEPS kombinací podélné rozdílové ochrann vedení 7SD610 (Siemens) a distanční ochrann vedení REL670 (ABB). Zapojení těchto ochrann je v souladu se standardem systému chránění ČEPS, který byl popsán v kapitole 2.2 spolu s principem podélné rozdílové ochrann vedení. Podélná rozdílová ochrana vedení 7SD610 je tedy u blokových vedení V001 a V002 zapojena na předsunuté PTP TA1 a PTN TV1 z pole do blokového vedení. Podélná rozdílová ochrana F261 je připojena na TR Milín na jádra vinutí B PTP TA1 a distanční ochrana REL670 F252 na jádra vinutí C PTP TA1. Jádra vinutí D jsou dle standardu ČEPS využita pro ROP+ASV a jádra vinutí A pro obchodní měření. Podélná rozdílová ochrana F261 působí na první vypínací cívkou vypínače, zatímco distanční ochrana F252 na druhé cívkou

vypínače.

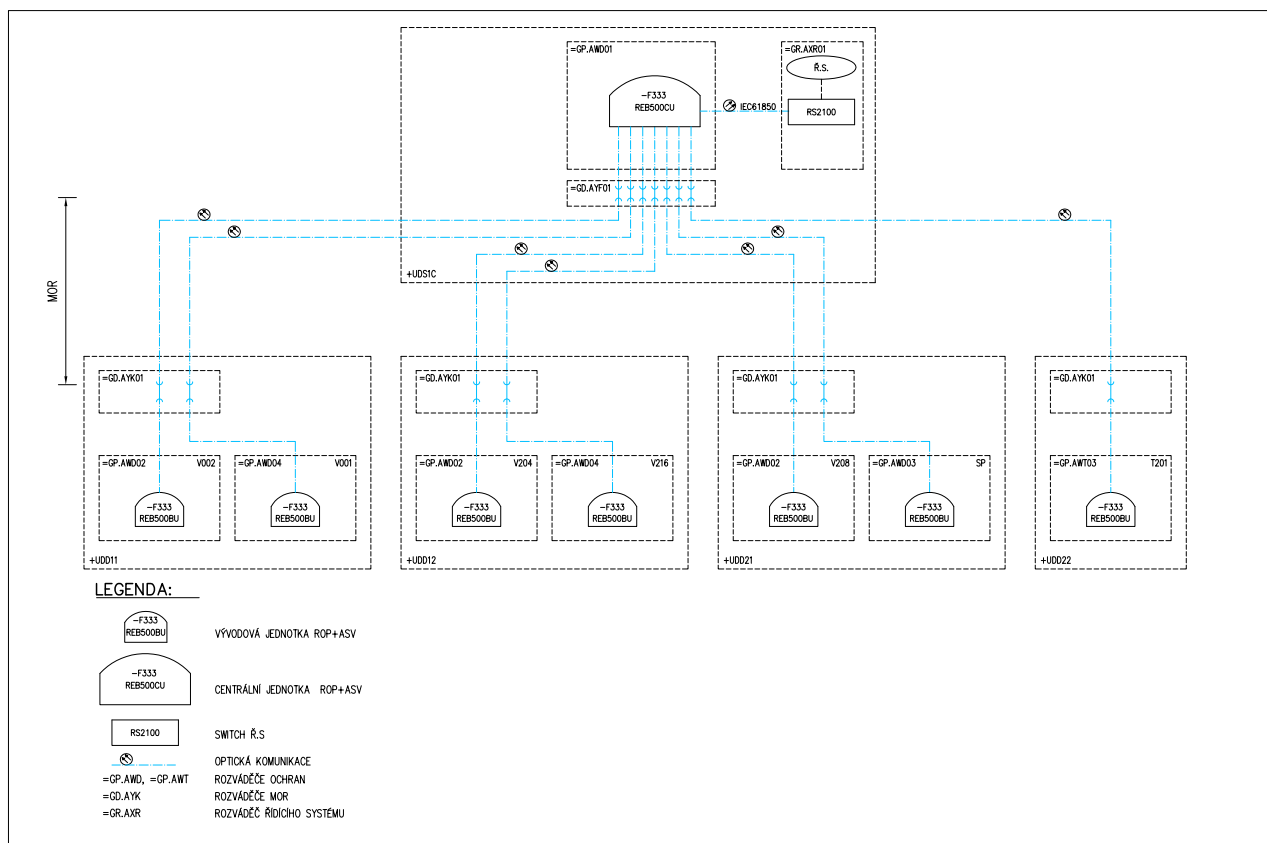
Pro ochrany blokového vedení V001 a V002 je využito přenosové zařízení PCM30U-OCH, které má na druhou stranu blokového vedení realizovanou komunikační cestu pomocí optických vláken v KZL. Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2, tak celá přenosová cesta od PCM na straně TR Milín k PCM umístěné na vodní elektrárně Orlick je v majetku připojené elektrárny, tedy ČEZ, a.s. Signály použité pro PCM na blokových vedeních V001 a V002 jsou totožné se signály na obrázku 3.5 s tím rozdílem, že pro bloková vedení byla využita jedna PCM, které má tedy do sebe zavedeny vstupy vždy v páru, tedy AV1 (od ochran V001), AV2 (od ochran V002), BV1, BV2, CV1, CV2 a to samé na druhou stranu vedení AP1 (od ochran V001), AP2 (od ochran V002), BP1, BP2, CP1 a CP2. PCM dále zajišťuje stavovou signalizaci o odpojení elektrárenského bloku od přenosového vedení. Aby bylo možné zajistit vyslání vypínacího povelu do elektrické stanice TR Milín, tak je využito ještě jedné komunikační vazby a to po metalickém kabelu, kterým je řízeno dálkové vypnutí od ochran elektrárenského bloku na obě cívky vypínače. Tato přenosová cesta je opět ve správě ČEZ, a.s.

Pro napájení ochran blokového vedení platí stejný princip, jako byl uveden u přenosových vedení TR Milín v kapitole 3.1. Podélná rozdílová ochrana 7SD610 je tedy napájena napětím 1.11 a napětím 1.21 je napájena distanční ochrana REL670. Jak již bylo uvedeno v předchozím textu, tak blokové vedení potřebuje signalizaci odpojení elektrárenského bloku od přenosového vedení. Pro tuto signalizaci je použito napětí 1.05, které je tvořeno vypínací logikou odpojovačů Q5 z obrázku 3.1, které řídí provoz přes pomocnou přípojnicí W51 nebo přes vývodové pole.

4 Návrh nastavení rozdílové ochrany přípojnic a automatiky selhání vypínače na rozvodně R245kV TR Milín

4.1 Systém řešení ROP a ASV na TR Milín

Struktura systému chránění ROP je provedena na TR Milín v decentralizovaném provedení, pro které je použita ochrana REB500, tzn., že všechny vývodové jednotky jsou umístěny po jednotlivých vývodech v domcích sekundární techniky. Komunikace mezi vývodovou jednotkou a centrální jednotkou je po optických vláknech. Jednotka vývodu BU – je spojovacím prvkem mezi ochranou a silovým zařízením (PTP, odpojovače, vypínače). Tato vývodová jednotka zajišťuje sběr dat z příslušného vývodu elektrické stanice a jeho základní zpracování. Na TR Milín bylo propojení mezi vývodovými jednotkami a centrální jednotkou realizováno v rámci nově budovaného místního optického rozvodu (MOR).



Obrázek 4.1 Komunikace centrální jednotky s vývodovými jednotkami ROP+ASV

Na obrázku 4.1 je znázorněno propojení centrální jednotky REB500 a hlavního rozváděče AYF01 pro MOR. Z rozváděče AYF01 jsou v rámci MOR vybudovány paprskové trasy do jednotlivých domků sekundární techniky. Propojení mezi centrálním domkem a domky sekundární techniky je realizováno pomocí optických 24-vláknových mikrokabelů MiDia CT, které jsou instalovány do HDPE trubek v kabelových kanálech pomocí mikrotrubičkového systému. Tyto optické mikrokabely jsou v domcích sekundární techniky ukončeny v rozváděči AYK01. Z tohoto rozváděče jsou již realizovány propojení pomocí optických patchcordů a je tak uzavřena komunikační cesta k vývodovým jednotkám REB500 ROP+ASV.

Do vývodových jednotek REB500, které jsou umístěny v domcích sekundární techniky, jsou zavedeny proudové obvody z jádra D přístrojového transformátoru proudu (PTP) TA1. PTP TA1 v TR Milín má převod 600/1A, proto je v ochraně REB500 použita proudová karta s 1A vstupem.

4.2 Návrh nastavení ROP a ASV

Rozdílová ochrana přípojnice na TR Milín (ROP) musí být nastavena na hodnotu menší, než je hodnota minimálního zkratového proudu na chráněné přípojnici. Zároveň je ale snahou, aby rozběhový proud ROP byl větší než maximální hodnota jmenovitého proudu připojených přenosových vedení V204, V208 a V216. Tato úvaha vychází z toho, že pokud by došlo např. k poruše měření vývodové jednotky ROP jednoho z připojených vedení při maximálním zatížení, tak to nesmí způsobit výpadek zbývajících vývodů připojených na stejnou přípojnici.

Po informaci od specialistů sekundární techniky ČEPS má dojít v budoucnosti v rámci DyZ (dynamické zatěžování vedení) k rozšíření maximálního jmenovitého proudu na vedeních V216, V208 a V204 na hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 4.1. Proto při nastavení ROP budeme uvažovat již s těmito hodnotami pro budoucí využití.

Zkratové proudy, které jsou uvedeny v tabulce 4.1, byly pro účely této práce vyžádány od provozovatele české energetické přenosové soustavy a budou použity jak pro nastavení ROP+ASV, tak i pro nastavení ochran transformátoru T201 v kapitole 5.

R245kV	
Maximální třífázový zkratový proud I''_{Kmax3f}	10,3 kA
Minimální třífázový zkratový proud I''_{Kmin3f}	5,6 kA
Maximální jmenovitý proud vedení V204	785 A
Maximální jmenovitý proud vedení V208	900 A
Maximální jmenovitý proud vedení V216	900 A

Tabulka 4.1 Zadané hodnoty od provozovatele české přenosové soustavy

Pro nastavení ROP tedy porovnáme maximální jmenovitý proud nejvíce zatíženého vedení, který má být v rámci DyZ v budoucnu 900A s minimálním zkratovým proudem, který se na přípojnicí může objevit, tj. 5,6 kA. Minimální náběhový proud diferenciálního článku ROP tedy bude v primárních hodnotách:

$$I_{Nmax} \leq I_r \leq I''_{Kmin3f} = 900 \leq I_r \leq 5600 = 1000 A_{prim} \quad (4.1)$$

Ze znalosti převodu PTP TA1 600/1A vypočteme nastavení náběhového proudu ROP v sekundárních hodnotách:

$$I_{rAsekund} = \frac{I_{rAprim}}{p_{PTP}} = \frac{1000}{600} = 1,66 A_{sekund} \quad (4.2)$$

5 Návrh systému chránění transformátoru 220/110/10,5 kV, 200 MVA na rozvodně R245kV TR Milín.

System chránění, který je v dnešní době certifikován pro použití v elektrických stanicích ČEPS byl rozebrán v kapitole 2.3. V této kapitole bude provedeno nastavení těchto ochran pro transformátor 220/110/10,5 kV o výkonu 200MVA na rozvodně TR Milín, při tomto návrhu se bude vycházet z platných norem ČSN 33 3051, PNE 38 4065 a ČSN EN 60909-0.

Hodnoty potřebné pro výpočet systému chránění:

R245kV	
Maximální třífázový zkratový proud I''_{Kmax3f}	10,3 kA
Minimální třífázový zkratový proud I''_{Kmin3f}	5,6 kA
Transformátor T201	
Výkon transformátoru S_n	200/200/100 MVA
Napětí nakrátko u_k	8,8/30,3/18,1 %
Jmenovité napětí U_n	220/110/10,5 kV
Jmenovitý proud I_n	500/955/3180 A
Reaktor RS011	
Impedance Z	0,45 Ω
Indukčnost L	1,44 mH/f
Jmenovitý proud I_n	250 A
Jmenovité napětí U_n	10,5 kV
Transformátor vlastní spotřeby T011	
Výkon transformátoru S_n	630/630/210 kVA
Napětí nakrátko u_k	5,4/5,6/5,9 %
Jmenovité napětí U_n	9450/10500/11500 V
Jmenovitý proud I_n	38,49/34,64/31,49 A
Koeficient bezpečnosti $k_b[-]$	1,1
Koeficient citlivost $k_c[-]$	1,3
Přídržný poměr relé $k_p[-]$	0,85
Napěťový součinitel maximálních zkratových	1,1

proudů c_{max} [–]	
Napěťový součinitel minimálních zkratových proudů c_{min} [–]	1,0

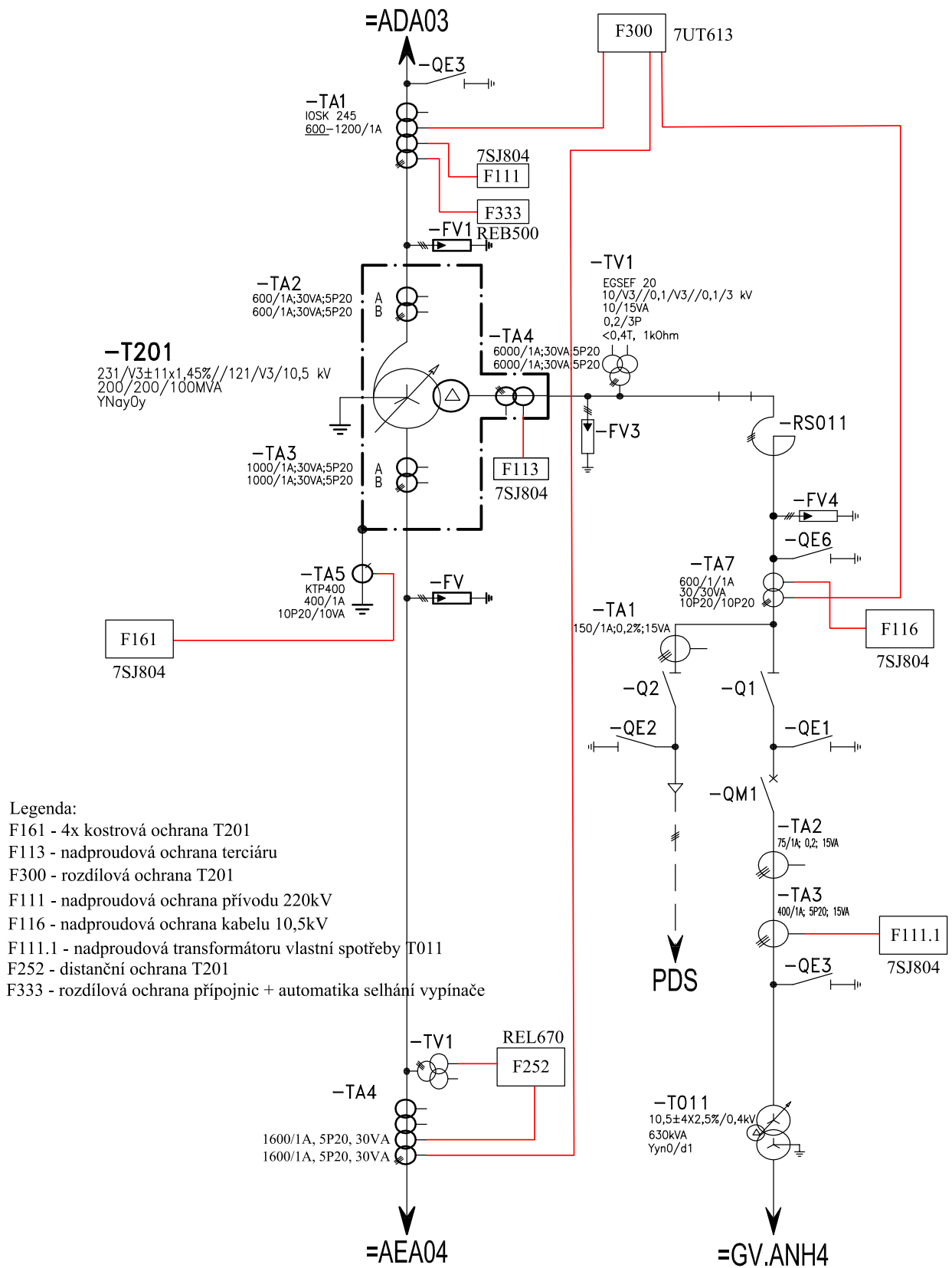
Tabulka 5.1 Potřebné hodnoty pro výpočet systému chránění T201

Pro výpočet je potřeba definovat hodnoty napěťového součinitele c , který je stanovený normou ČSN EN 60909-0 tabulkou 1 pro napětí větší než 1kV následovně:

Napěťový součinitel maximálních zkratových proudů $c_{max} = 1,1$ [–]

Napěťový součinitel minimálních zkratových proudů $c_{min} = 1,0$ [–]

Pro nastavení ochran dále budeme využívat koeficient bezpečnosti $k_b = 1,1$, který se zpravidla volí v rozmezí 1,1 až 1,35, přídržný poměr relé – nejmenší přípustná hodnota je $k_p = 0,85$ a koeficient citlivosti $k_c = 1,3$, u kterého by pro digitální ochrany stačilo zvolit hodnotu 1,2. Tyto hodnoty byly zvoleny na základě doporučení vycházející z normy PNE 38 4065 a jsou také pro přehlednost shrnuty v tabulce 5.1.



Obrázek 5.1 Blokové schéma systému chránění T201

5.1 Nadproudové ochrany 7SJ804 transformátoru T201 Milín (1) (6) (18)

Nadproudová ochrana přívodu F111

Pro nastavení nadproudových ochran T201 si nejprve vypočteme náhradní reaktance jednotlivých prvků k místu zkratu se zanedbáním činné složky, což je pro nastavení ochran dostatečně přesné.

Náhradní reaktance soustavy:

$$X_{smax} = \frac{c_{max} \cdot U_{zkratu}}{\sqrt{3} \cdot I''_{Kmax3f}} = \frac{1,1 \cdot 220}{\sqrt{3} \cdot 10,3} = 13,56 \Omega \quad (5.1)$$

$$X_{smin} = \frac{c_{min} \cdot U_{zkratu}}{\sqrt{3} \cdot I''_{Kmin3f}} = \frac{1 \cdot 220}{\sqrt{3} \cdot 5,6} = 22,68 \Omega \quad (5.2)$$

Reaktance transformátoru T201:

$$X_{T201} = \frac{u_{k12} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{8,8 \cdot 220^2}{100 \cdot 200} = 21,30 \Omega \quad (5.3)$$

Poté můžeme dopočítat náhradní reaktanci zkratového příspěvku na přípojnici R245kV pro nastavení nadproudové ochrany přívodu:

$$X_{cmin} = X_{smin} + X_{T201} = 22,68 + 21,30 = 43,98 \Omega \quad (5.4)$$

A následně dopočteme hodnotu minimálního rázového příspěvku na přípojnici:

$$I''_{Kmin3f} = \frac{c_{min} \cdot U_{zkratu}}{\sqrt{3} \cdot X_{cmin}} = \frac{1 \cdot 220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 43,98} = 2888,22 A \quad (5.5)$$

Pro nastavení nadproudové ochrany musíme počítat s tím nejhorším případem, což je dvoufázový zkrat. Z rovnice 5.5 tedy vypočteme dvoufázový zkratový proud:

$$I''_{Kmin2f} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_{Kmin3f} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2888,22 = 2501,27 \text{ A} \quad (5.6)$$

Nastavení nadproudové ochrany přívodu v primárních hodnotách:

$$I_r \leq \frac{I''_{Kmin2f}}{k_c} = \frac{2501,27}{1,3} = 1924,05 \text{ A}_{prim} \quad (5.7)$$

Ze znalosti převodu PTP TA1 600/1A vypočteme nastavení nadproudové ochrany přívodu v sekundárních hodnotách:

$$I_r \leq \frac{I''_{Kmin2f}}{k_c \cdot p_{PTP}} = \frac{2501,27}{1,3 \cdot 600} = 3,20 \text{ A}_{sekund} \quad (5.8)$$

Na závěr vypočteme také spodní mez nastavení nadproudové ochrany přívodu v sekundárních hodnotách:

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_{PTP}} = \frac{1,1 \cdot 500}{0,95 \cdot 600} = 0,96 \text{ A}_{sekund} \quad (5.9)$$

1. nadproudový stupeň ochrany označovaný jako $I >$, při kterém začne nadproudová ochrana přívodu působit, se bude tedy pohybovat v rozmezí $0,96 \leq I_r \leq 3,20 \text{ A}_{sekund}$. Můžeme tedy provést nastavení 1. stupně nadproudové ochrany přívodu na $I_r = 1,5 \text{ A}_{sekund}$. Čas působení nadproudového stupně $I >$ se nastavuje delší než poslední stupeň distančních ochrany směřovaných do 110kV, protože prioritně musíme zachovat selektivitu chránění, tedy poruchy na straně 110kV musí vypínat ochrany k tomu určené – distanční ochrana transformátoru T201.

Nadproudová ochrana není z pohledu chránění transformátoru základní ochranou, pouze zálohuje ochranu rozdílovou a distanční. Po zkušenostech odborníků sekundární techniky ČEPS je dokázáno, že transformátor vydrží obecně dvojnásobek svého jmenovitého proudu po dobu až 10 minut. Z tohoto důvodu se 1. nadproudový stupeň označovaný jako $I >$ nastavuje v praxi většinou na dvojnásobek jmenovitého proudu transformátoru. Pokud bychom tedy použili zjednodušený výpočet pro nastavení

nadproudové ochrany přívodu, tak bychom se v podstatě dostali ke stejnému nastavení 1. stupně nadproudové ochrany přívodu jako jsme získali postupem k rovnici 5.8:

$$I_r = \frac{2 \cdot I_n}{p_{PTP}} = \frac{2 \cdot 500}{600} = 1,66 \text{ A}_{\text{sekund}} \quad (5.10)$$

2. a 3. stupeň nadproudové ochrany přívodu označovaný jako $I \gg a I \gg \gg$ se nastavuje s rezervou na větší proud než je možný maximální zkratový proud na straně 110kV, protože pokud bychom tento rychlý nadproudový stupeň, u kterého se nenastavuje časové zpoždění, nastavili na nižší proud, tak by mohl zareagovat neselektivně v případě poruchy na přípojnicích 110kV nebo na odcházejícím vedení. Třetí nadproudový stupeň ochrany $I \gg \gg$ nastavujeme zpravidla rovný druhému stupni nadproudové ochrany. Ochrana však v tomto stupni měří okamžité hodnoty proudu, takže ustálený proud vypíná při hodnotě $\sqrt{2} \cdot \text{nastavená hodnota}$. Tímto nastavením tedy budeme mít jistotu, že když tento rychlý stupeň nadproudové ochrany zapůsobí, tak je zkrat uvnitř transformátoru a ochrana bude působit selektivně s okamžitým vypnutím. Pro výpočet nastavení 2. a 3. stupně nadproudové ochrany tedy provedeme výpočet maximálního zkratového proudu na straně 110kV:

$$X_{smax} = \frac{c_{max} \cdot U_{zkratu}}{\sqrt{3} \cdot I''_{Kmax3f}} = \frac{1,1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 10,3} = 6,78 \Omega \quad (5.11)$$

$$X_{T201} = \frac{u_k \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{8,8 \cdot 110^2}{100 \cdot 200} = 5,32 \Omega \quad (5.12)$$

$$X_{cmax} = X_{smax} + X_{T201} = 6,78 + 5,32 = 12,11 \Omega \quad (5.13)$$

$$I''_{Kmax3f} = \frac{c_{max} \cdot U_{zkratu}}{\sqrt{3} \cdot X_{cmax}} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 12,11} = 5770,42 \text{ A}_{\text{prim}} \quad (5.14)$$

Nastavení 2. a 3. stupně nadproudové ochrany přívodu bude tedy v sekundárních hodnotách bez časového zpoždění:

$$I_r \leq \frac{I''_{Kmax3f}}{600} = \frac{5770,42}{600} = 9,61 \text{ A}_{\text{sekund}} \quad (5.15)$$

Na ochraně tedy nastavíme pro 2. a 3. stupeň $I_r = 9 A_{sekund}$ a $t = 0 sec$.

Nadproudová ochrana terciáru F113

Náhradní reaktance soustavy pro nastavení ochrany terciáru vezmeme z rovnic 5.1 a 5.2.

Reaktanci transformátoru musíme přepočítat s převodem na stranu 10,5 kV.

Reaktance transformátoru T201 přepočtená na stranu 10,5kV:

$$X_{T201} = \frac{u_{k13} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{30,3 \cdot 220^2}{100 \cdot 200} = 73,33 \Omega \quad (5.16)$$

Poté můžeme dopočítat náhradní reaktanci zkratového příspěvku na přípojnici R245kV pro nastavení nadproudové ochrany terciáru:

$$X_{cmin} = X_{smin} + X_{T201} = 22,68 + 73,33 = 96,46 \Omega \quad (5.17)$$

A následně dopočteme hodnotu minimálního rázového příspěvku na přípojnici:

$$I''_{Kmin3f} = \frac{c_{min} \cdot U_{zkratu}}{\sqrt{3} \cdot X_{cmin}} = \frac{1 \cdot 220 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 96,46} = 1316,81 A \quad (5.18)$$

Pro nastavení nadproudové ochrany musíme počítat s tím nejhorším případem, což je dvoufázový zkrat. Z rovnice 5.18 tedy vypočteme dvoufázový zkratový proud:

$$I''_{Kmin2f} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_{Kmin3f} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1316,81 = 1140,39 A \quad (5.19)$$

Nastavení nadproudové ochrany terciáru v primárních hodnotách:

$$I_r \leq \frac{I''_{Kmin2f}}{k_c} = \frac{1140,39}{1,3} = 877,22 A_{prim} \quad (5.20)$$

Ze znalosti převodu PTP TA4 6000/1A uložených v terciárních průchodkách stroje vypočteme nastavení nadproudové ochrany terciáru v sekundárních hodnotách:

$$I_r \leq \frac{I''_{Kmin2f}}{k_c \cdot p_{PTP}} = \frac{1140,39}{1,3 \cdot 6000} = 0,1462 A_{sekund} \quad (5.21)$$

Na závěr vypočteme také spodní mez nastavení nadproudové ochrany terciáru v sekundárních hodnotách:

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_{PTP}} = \frac{1,1 \cdot 500}{0,95 \cdot 6000} = 0,0964 A_{sekund} \quad (5.22)$$

Rozběhový proud 1. nadproudového stupně ochrany terciáru $I >$ se bude tedy pohybovat v rozmezí $0,0964 \leq I_r \leq 0,1462 A_{sekund}$. Můžeme tedy provést nastavení 1. stupně nadproudové ochrany terciáru na $I_r = 0,1 A_{sekund}$.

Časové odstupňování této ochrany se v praxi většinou volí se snahou nastavit 1. stupeň s dosahem až na sekundární stranu transformátorů vlastní spotřeby. Čas tedy musí být nejdelší v řadě nadproudových ochran terciáru s dodržением minimálního odstupe od jednotlivých nadproudových ochran 0,3s. V podstatě by mohlo být časové zpoždění nastaveno na stejnou hodnotu jako nadproudová ochrana kabelu terciáru. Obě ochrany totiž vypínají celý transformátor, takže bude zajištěna selektivita vypínání.

Nadproudová ochrana kabelu 10,5kV F116

Náhradní reaktance soustavy pro nastavení ochrany kabelu 10,5kV přepočteme na terciárního stranu transformátoru T201:

$$X_{smax} = \frac{c_{max} \cdot U_{zkratu}}{\sqrt{3} \cdot I''_{Kmax3f}} = \frac{1,1 \cdot 10,5}{\sqrt{3} \cdot 10,3} = 0,65 \Omega \quad (5.23)$$

$$X_{smin} = \frac{c_{min} \cdot U_{zkratu}}{\sqrt{3} \cdot I''_{Kmin3f}} = \frac{1 \cdot 10,5}{\sqrt{3} \cdot 5,6} = 1,08 \Omega \quad (5.24)$$

Reaktance transformátoru T201 na straně 10,5kV:

$$X_{T201} = \frac{u_{k13} \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{30,3 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 200} = 0,17 \Omega \quad (5.25)$$

Dále musíme spočítat reaktanci kabelu AXEKVCEY 1x150/25, který je použit na TR Milín pro vyvedení výkonu z terciární strany transformátoru T201 k transformátorům vlastní spotřeby ČEZ Distribuce, a.s. T11 a T12.

Z katalogového listu kabelu si zjistíme indukčnost kabelu pro jeho uložení v rovině: (19)

$$L_{\text{kabelu v rovině}} = 0,57 \text{ mH/km}$$

Délka tohoto kabelu mezi terciárem T201 a PDS je 500m, můžeme tedy provést výpočet reaktance kabelu:

$$X_k(\Omega/\text{km}) = 2\pi f \cdot L_{\text{kabelu v rovině}} = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,57 \cdot 10^{-3} = 0,18 \Omega/\text{km} \quad (5.26)$$

$$X_k = \frac{X_k(\Omega/\text{km}) \cdot l}{\text{počet kabelů}} = \frac{0,18 \cdot 0,5}{3} = 0,03 \Omega \quad (5.27)$$

Poté můžeme dopočítat náhradní reaktanci zkratového příspěvku na straně 10,5kV pro nastavení nadproudové ochrany kabelu již s uvažováním reaktoru RS011 instalovaného v terciáru T201:

$$X_{cmin} = X_{smin} + X_{T201} + X_k + X_{RS011} = 1,08 + 0,17 + 0,03 + 0,45 = 1,73 \Omega \quad (5.28)$$

A následně dopočteme hodnotu minimálního rázového příspěvku na straně 10,5kV:

$$I''_{Kmin3f} = \frac{c_{min} \cdot U_{zkratu}}{\sqrt{3} \cdot X_{cmin}} = \frac{1 \cdot 10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,73} = 3505,35 \text{ A} \quad (5.29)$$

Pro nastavení nadproudové ochrany musíme počítat s tím nejhorším případem, což je dvoufázový zkrat. Z rovnice 5.29 tedy vypočteme dvoufázový zkratový proud:

$$I''_{Kmin2f} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_{Kmin3f} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3505,35 = 3035,72 \text{ A} \quad (5.30)$$

Nastavení nadproudové ochrany terciáru v primárních hodnotách:

$$I_r \leq \frac{I''_{Kmin2f}}{k_c} = \frac{3035,72}{1,3} = 2335,17 A_{prim} \quad (5.31)$$

Ze znalosti převodu PTP TA7 600/1A instalovaných na terciární straně transformátoru T201 za reaktorem RS011 vypočteme nastavení nadproudové ochrany kabelu 10,5kV v sekundárních hodnotách:

$$I_r \leq \frac{I''_{Kmin2f}}{k_c \cdot p_{PTP}} = \frac{3035,72}{1,3 \cdot 600} = 3,89 A_{sekund} \quad (5.32)$$

Na závěr vypočteme také spodní mez nastavení nadproudové ochrany terciáru v sekundárních hodnotách. Za hodnotu I_n dosadíme maximální proudovou zatížitelnost kabelu při teplotě jádra 65°C uloženého v zemi. Z katalogového listu tedy odečteme hodnotu $I_n = 300 A$

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_{PTP}} = \frac{1,1 \cdot 300}{0,95 \cdot 600} = 0,57 A_{sekund} \quad (5.33)$$

Rozběhový proud 1. nadproudového stupně ochrany kabelu 10,5kV $I >$ se bude tedy pohybovat v rozmezí $0,57 \leq I_r \leq 3,79 A_{sekund}$. Můžeme tedy provést nastavení 1. stupně nadproudové ochrany terciáru s rezervou na $I_r = 0,9 A_{sekund}$.

Časové odstupňování této ochrany je snahou nastavit tak, aby dosáhl s rezervou až na sekundární stranu transformátoru vlastní spotřeby, tak jak bylo uvedeno v předchozím textu, tak se může nastavit časový stupeň na stejnou hodnotu jako časový stupeň u nadproudové ochrany terciáru, ovšem musí být čas zároveň delší než je čas působení nadproudové ochrany T011 opět o minimální odstup nadproudových ochran, který se v praxi používá 0,3s.

Nadproudová ochrana T011 F111.1

Náhradní reaktance soustavy pro nastavení ochrany transformátoru vlastní spotřeby ČEPS T011 vypočteme podle rovnice 5.23 a 5.24. Reaktanci transformátoru na straně 10,5kV vypočteme podle rovnice 5.25. Dále musíme spočítat reaktanci transformátoru vlastní spotřeby T011:

$$X_{T011} = \frac{u_k \cdot U_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{(5,6 \cdot 10,5 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 650 \cdot 10^3} = 9,8 \Omega \quad (5.34)$$

Poté můžeme dopočítat náhradní reaktanci zkratového příspěvku na straně 10,5kV pro nastavení nadproudové ochrany transformátoru vlastní spotřeby ČEPS T011 s uvažováním reaktoru RS011 instalovaného v terciáru T201:

$$X_{cmin} = X_{smin} + X_{T201} + X_{RS011} + X_{T011} = 1,08 + 0,17 + 0,45 + 9,8 = 11,50 \Omega \quad (5.35)$$

A následně dopočteme hodnotu minimálního rázového příspěvku na straně 10,5kV:

$$I''_{Kmin3f} = \frac{c_{min} \cdot U_{zkratu}}{\sqrt{3} \cdot X_{cmin}} = \frac{1 \cdot 10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 11,50} = 527,16 A \quad (5.36)$$

Pro nastavení nadproudové ochrany musíme počítat s tím nejhorším případem, což je dvoufázový zkrat. Z rovnice 5.36 tedy vypočteme dvoufázový zkratový proud:

$$I''_{Kmin2f} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_{Kmin3f} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 527,16 = 456,53 A \quad (5.37)$$

Nastavení nadproudové ochrany transformátoru vlastní spotřeby ČEPS T011 v primárních hodnotách:

$$I_r \leq \frac{I''_{Kmin2f}}{k_c} = \frac{456,53}{1,3} = 351,18 A_{prim} \quad (5.38)$$

Ze znalosti převodu PTP TA3 400/1A instalovaných na terciární straně transformátoru T201 před transformátorem vlastní spotřeby ČEPS T011 vypočteme nastavení nadproudové ochrany v sekundárních hodnotách:

$$I_r \leq \frac{I'_{Kmin2f}}{k_c \cdot p_{PTP}} = \frac{456,53}{1,3 \cdot 400} = 0,87 A_{sekund} \quad (5.39)$$

Na závěr vypočteme také spodní mez nastavení nadproudové ochrany T011 v sekundárních hodnotách. Za hodnotu I_n dosadíme jmenovitý proud transformátoru vlastní spotřeby T011:

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_{PTP}} = \frac{1,1 \cdot 34,64}{0,95 \cdot 400} = 0,10 A_{sekund} \quad (5.40)$$

Rozběhový proud 1. nadproudového stupně ochrany kabelu 10,5kV $I >$ se bude tedy pohybovat v rozmezí $0,10 \leq I_r \leq 0,87 A_{sekund}$. Můžeme tedy provést nastavení 1. stupně nadproudové ochrany terciáru s rezervou na $I_r = 0,3 A_{sekund}$.

Kostrové ochrany T201

Transformátor T201 instalovaný na TR Milín obsahuje čtyři jednofázové jednotky. Z tohoto důvodu se pro chránění stroje musí využít čtyři kostrové ochrany Siemens 7SJ804. Nastavení kostrové ochrany je definováno proudovým převodem KTP400. Tzn., že jakmile dojde k zemnímu spojení, při kterém se uzavře proud přes kostru transformátoru, tak vždy bude tento proud větší než 400A a tudíž ochrana spolehlivě vybaví. Nastavení kostrové ochrany tedy bude v primárních hodnotách:

$$I_r = 400 A_{prim}$$

A v sekundárních hodnotách ze znalosti převodu KTP TA5 400/1A:

$$I_r = 1 A_{sekund}$$

Nastavení všech nadproudových ochran transformátoru T201 je pro přehlednost shrnuto v tabulce 5.2.

Nadproudová ochrana přívodu	
<i>Nadproudový stupeň</i>	<i>Rozběhový proud I_r [A_{sec}]</i>
I>	1,5
I>>	9
I>>>	9
Nadproudová ochrana terciáru	
<i>Nadproudový stupeň</i>	<i>Rozběhový proud I_r [A_{sec}]</i>
I>	0,1
Nadproudová ochrana kabelu 10,5kV	
<i>Nadproudový stupeň</i>	<i>Rozběhový proud I_r [A_{sec}]</i>
I>	0,9
Nadproudová ochrana T011	
<i>Nadproudový stupeň</i>	<i>Rozběhový proud I_r [A_{sec}]</i>
I>	0,3
Kostrové ochrany transformátoru T201	
<i>Nadproudový stupeň</i>	<i>Rozběhový proud I_r [A_{sec}]</i>
I>	1

Tabulka 5.2 Nastavení nadproudových ochran transformátoru T201 TR Milín

5.2 Rozdílová ochrana transformátoru T201 (9) (20) (21)

Pro rozdílovou ochranu transformátoru bude využita dle standardů ČEPS ochrana Siemens 7UT613 pro 3 konce chráněného stroje.

Nejprve provedeme nastavení náběhové hodnoty rozdílového proudu $I - DIFF >$, která se u ochrany 7UT613 nastavuje na adrese 1221. Při zvolení této hodnoty je potřeba uvažovat odbočky $\pm 11\%$, díky kterým může transformátor změnit vyrovnaný stav diferenciálního proudu až o 32%. Dále je potřeba uvažovat také chyby PTP třídy 5P použitých pro snímání proudu pro rozdílovou ochranu T201, která je pro tuto třídu 5%. Chyba převodu ochrany se většinou volí kolem 5% + rezerva na ostatní chyby 4%. Poté nám vyjde celková chyba:

$$S = 22 + 5 + 5 + 4 = 36\% \quad (5.41)$$

Nastavení náběhové hodnoty rozdílového proudu vypočteme podle rovnice 5.42:

$$I - DIFF \geq 0,5 \cdot S + P_0 \quad (5.42)$$

Kde:

P_0 Ztráty transformátoru naprázdno

Ztráty naprázdno transformátoru T201 na TR Milín neznáme, proto provedeme s rezervou dosazení hodnoty $P_0 = 10\%$. Náběhová hodnota rozdílového proudu po dosazení do rovnice 5.42:

$$I - DIFF \geq 0,5 \cdot 36 + 10 = 28\%$$

Náběhová hodnota 1. diferenciálního stupně na adrese 1221 tedy bude:

$$I - DIFF \geq 0,3 I / I_{n0}$$

Časové zpoždění náběhové hodnoty rozdílového proudu na adrese 1226A nastavíme vzhledem k důležitosti rozdílové ochrany T201 na čas bez zpoždění, abychom zabránili neselektivnímu vypínání od ostatních ochran T201:

$$T I - DIFF \geq 0,00 \text{ sec}$$

Druhý stupeň rozdílové ochrany T201 nastavíme po výpočtu maximálního třífázového zkratového proudu na straně 110kV:

$$I_{K3fmax} = \frac{1}{\frac{u_k}{100}} \cdot \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{200 \cdot 10^6}{0,088 \cdot \sqrt{3} \cdot 231 \cdot 10^3} = 5680,34 \text{ A} \quad (5.43)$$

Pro dosažení nastavení v primárních hodnotách vynásobíme bezpečnostním koeficientem 20%:

$$I - DIFF \gg = 1,2 \cdot I_{K3fmax} = 1,2 \cdot 5680,34 = 6816,41 A \quad (5.44)$$

Ze znalosti převodu PTP TA1 na straně 220kV 600/1A pak provedeme výpočet oblasti vypnutí pro velké zkratové proudy v sekundárních hodnotách:

$$I - DIFF \gg = \frac{6816,41}{600} = 11,36 A_{sec}$$

Náběhová hodnota 2. diferenciálního stupně na adrese 1231 tedy bude:

$$I - DIFF \gg = 11,5 I/In0$$

Vzhledem k tomu, že se jedná o velké zkratové proudy, které je potřeba okamžitě vypnout, tak nastavíme časové zpoždění 2. diferenciálního stupně na adrese 1236A na hodnotu:

$$T I - DIFF \gg = 0,00 sec$$

Na závěr provedeme nadproudové nastavení, které nám zajistí zálohu pro nadproudové ochrany, které byly nastaveny v kapitole 5.1. Nadproudový stupeň $I >$ na adrese 2015 nastavíme na stejnou hodnotu, jako jsme nastavili hodnotu rozběhového proudu I_r nadproudové ochrany přívodu, tedy 1,5 A_{sec} , ovšem s malou rezervou a s časem o něco málo delším. Nastavení nadproudového stupně rozdílové ochrany T201 na adrese 2015 tedy bude:

$$I > = 1,8 I/InS$$

Zkratový stupeň rozdílové ochrany $I \gg$ na adrese 2012 nastavíme na hodnotu větší, než byl 2. a 3. stupeň nadproudové ochrany přívodu a opět bez časového zpoždění:

$$I \gg = 10,8 I/InS$$

Tímto způsobem máme zajištěnou selektivitu a místní zálohování ochran transformátoru T201.

Závěr

V této diplomové práci bylo popsáno řešení systému chránění v elektrických stanicích ČEPS včetně detailního postupu uvádění zařízení do provozu u přenosových/blokových vedeních v elektrických stanicích ČEPS a transformátoru T201 v elektrické stanici TR Milín. Myšlenkou práce bylo poukázat na principy chránění používané v elektrických stanicích a vydefinovat základní typy ochran k tomu určené.

Ve třetí části diplomové práce byl popsán systém řešení chránění přenosového a blokové vedení na TR Milín. Byl zde popsán systém strhávání ochran, který je pro funkčnost toho chránění velice důležitý. Tato část byla také zaměřena na velmi důležitý systém řešení vlastní spotřeby elektrické stanice, byl tedy popsán systém bezvýpadkového napájení I. kategorie, pro který jsou v elektrických stanicích ČEPS používány akumulátorové baterie. Tyto akumulátorové baterie jsou zároveň neustále dobíjeny z usměrňovačů napájených ze zajištěné vlastní spotřeby elektrické stanice, které je tvořena dieselgenerátorem.

Ve čtvrté části diplomové práce byl popsán systém řešení rozdílové ochrany přípojnic v elektrické stanici TR Milín včetně řešení komunikace vývodových jednotek s centrální jednotkou rozdílové ochrany přípojnic REB500. Dalším stěžejním bodem je návrh nastavení této rozdílové ochrany přípojnic, které se v diplomové práci podařilo porovnáním nejmenšího zkratového proudu, který může na přípojnici nastat s maximálním jmenovitým proudem nejvíce zatíženého vedení. Pokud by nebyla dodržena tato úvaha, tak při poruše měření vývodové jednotky rozdílové ochrany přípojnic jednoho z připojených vedení při maximálním zatížení by rozdílová ochrana přípojnic způsobila výpadek i zbývajících vývodů připojených na stejnou přípojnici.

V posledním bodu zadání bylo cílem navrhnout systém chránění pro nejdražší zařízení přenosové soustavy, kterým je transformátor a to pro konkrétní řešení v elektrické stanici TR Milín u transformátoru T201. Tento bod zadání byl splněn s výjimkou časového odstupňování nadproudových ochran. V práci byl popsán pouze princip časového odstupňování v řadě nadproudových ochran na terciární straně T201, který se v praxi používá minimálně 0,3s. Konečné hodnoty časových stupňů jsou poté dořešeny při samotném uvádění do provozu na základě vypočítaných skutečností. Případně se jedná o dokonalý přístup navrhovatele systému chránění, který již díky absolvované praxi dokáže dopředu odhadnout fyzikální záležitosti na vedení a určit čas zpoždění, který daná ochrana v řadě nadproudových ochran terciáru potřebuje, aby byla dodržena selektivita vypínání a nedošlo k zapůsobení ochran a vypnutí nepostižené části zařízení.

6 Citovaná literatura

1. Grym, R., a další. *Chránění II., Elektrická zařízení vysokého napětí, chránění zařízení v průmyslu*. Havířov : Irena Satinská - IRIS, 2004.
2. Mertlová, Jiřina, Hejtmánková, Pavla a Tajtl, Tomáš. *Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie*. 2004.
3. Česká energetická přenosová soustava. [Online] <https://www.ceps.cz>.
4. ČSN EN 60044-1. *Přístrojové transformátory - Část 1: Transformátory proudu*. 2001.
5. ČSN 35 1360. *Přístrojové transformátory proudu a napětí*. vydavatelství ÚNM, Praha 10 - Hostivař, 1979.
6. PNE 38 4065 - Provoz, navrhování a zkoušení ochrany a automatik. 2008. 3. vydání.
7. Jiříček, Ing. Jaroslav. Technická norma ČEPS TN 28 . *Standardy systému ochrany*. 2012.
8. Janíček, František, a další. *Digitální ochrany v elektrizační soustavě*. Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2004.
9. Grym, a další. *Chránění III., elektrická zařízení vysokého napětí*. Ostrava : Irena Satinská - IRIS, 2005.
10. Beran, M. *Elektrické ochrany strojů a zařízení elektrizační soustavy*. Plzeň, 1979.
11. SIPROTEC Compact 7SJ80. [Online] [Citace: 17. Únor 2016.] https://w5.siemens.com/web/il/en/corporate/home/Siemens_Israel/ICS/SmartGrid/EA/Documents/SIPROTEC%207SJ80x%20E%20%93%20Multifunction%20MV%20relay.pdf
12. EGC - service s.r.o. Kostrový transformátor proudu KTP400. http://www.egc-cb.cz/download/sites_add_cs/1452495420_cs_ktp-400-datasheet.pdf [Online]
13. Novotná, Ing. Jena. Technická norma ČEPS TN24. *Jednotné značení signálů v rozvodnách ČEPS, a.s.* 2013.
14. Relay Test System, Freja 306. [Online] [Citace: 29. 1 2016.] http://www.nahanagan.com/downloads/freja306_en.pdf
15. *PCM30U katalog produktové řady*. [Online] [Citace: 15. listopad 2015.] http://pcm30sup.ttc.cz/sup/dok.cz/ttc-pcm30u-katalog_446s559.610.00n05.012.pdf
16. *Digitální zařízení pro přenos povelů a ochran vedení VVN*. [Online] [Citace: 15. listopad 2015.] http://www.ttc-marconi.cz/upload/10-1-PCM30U-OCH_cz.pdf
17. Reimar, Vladislav a Mareš, Miroslav. *Zásady řešení vlastní spotřeby nn stanic PS TN25*. 2015.
18. Siemens. Siprotec Compact 7SJ80 Multifunction Protection Relay. [Online] [Citace:28.březen2016.]

https://w5.siemens.com/web/il/en/corporate/home/Siemens_Israel/ICS/SmartGrid/EA/Documents/SIPROTEC%20SJ80x%20%E2%80%93%20Multifunction%20MV%20relay.pdf

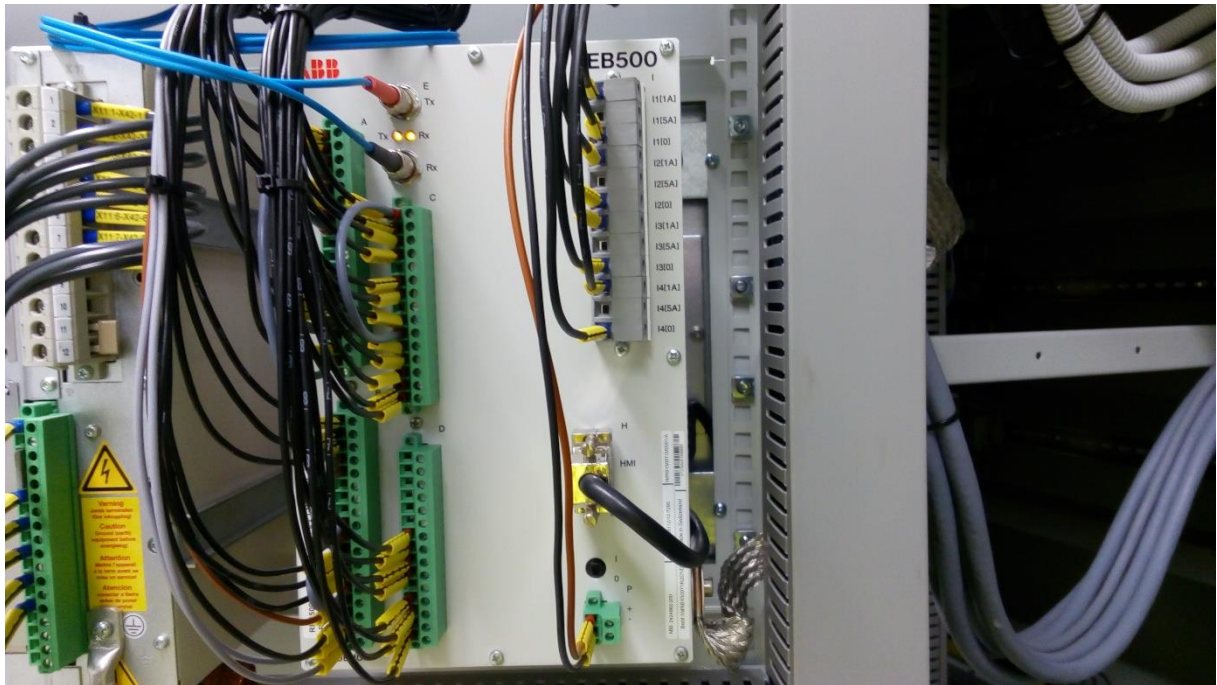
19. Draka. Katalogový list 22-AXEKVCEY 12,7/22 kV. [Online] [Citace: 28. březen 2016.]http://www.vodice-kabely.cz/index.php?option=com_mtree&task=att_download&link_id=218&cf_id=50

20. Svoboda, Miroslav. Bakalářská práce - Chránění Transformátoru rozdílovou ochranou. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010.

21. Siemens. Applications for Siprotec Protection Relays. [Online] [Citace: 28. březen 2016.]https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=DLA09_204

Přílohy

Příloha A. Fotodokumentace systému chránění TR Milín



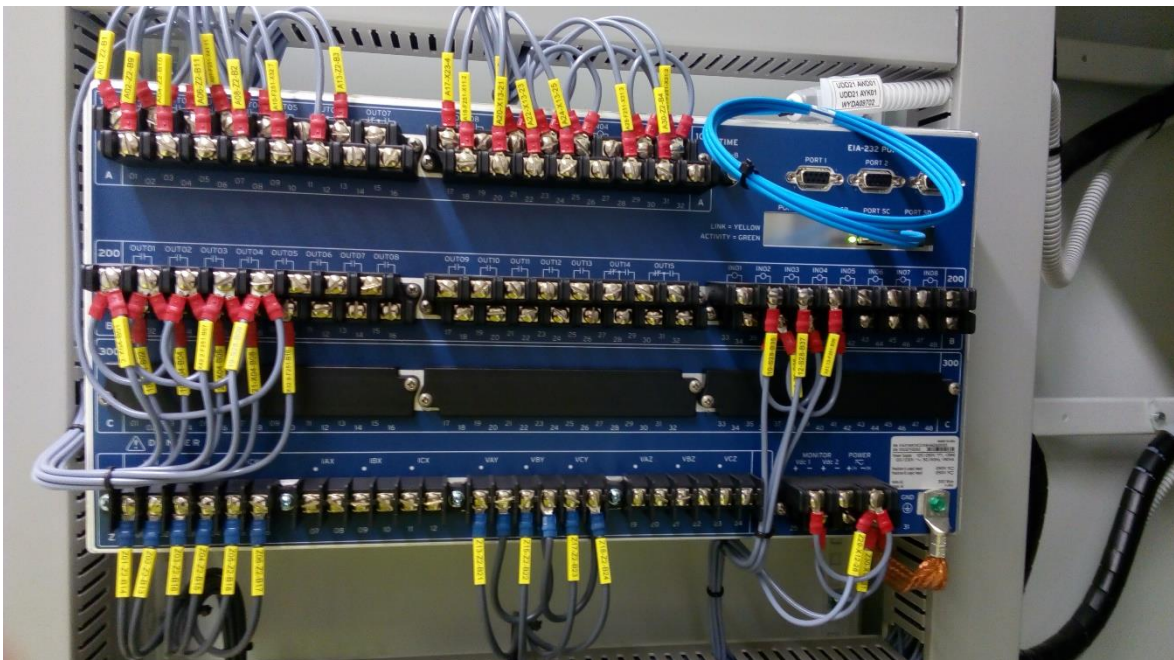
Obrázek A.1 Připojení proudových vstupů a optického rozhraní do vývodové jednotky ROP



Obrázek A.2 Sestava rozváděče vývodové jednotky ROP



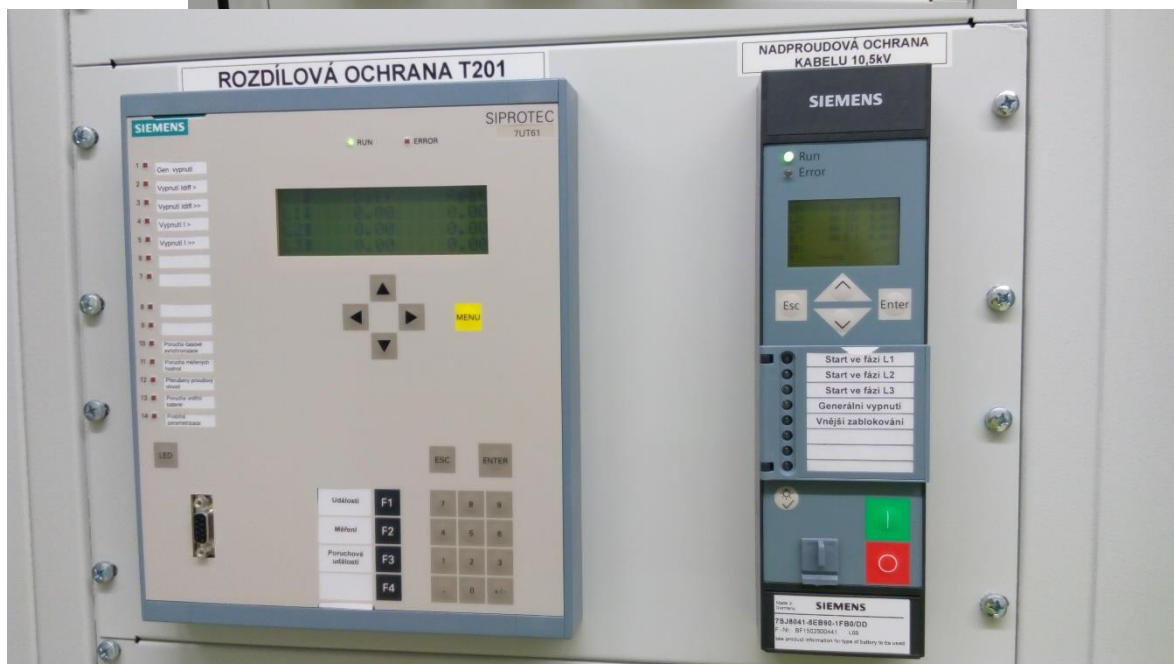
Obrázek A.3 Připojení proudových, napěťových vstupů a optického rozhraní do ochrany REL670



Obrázek A.4 Připojení proudových, napěťových vstupů a optického rozhraní do ochrany SEL421



Obrázek A.5 Sestava rozváděčů ochran transformátoru T201 TR Milín



Obrázek A.6 Sestava rozváděčů systému chránění T201 TR Milín