



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta Elektrotechnická

Katedra Elektroenergetiky

**Revize pravidel pro nastavování ochran v síti VN PREdistribuce,
a.s.**

**Revision of the rules for setting the protections in the distribution
network of PREdistribuce, a.s.**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Ing. Radek Hanuš, Ph.D.

**Tomáš Vízdal
Praha 2017**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vízdal** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **434648**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Revize pravidel pro nastavování ochran v síti VN

Název bakalářské práce anglicky:

Revision of the rules for setting the protections in the distribution network

Pokyny pro vypracování:

1. Zmapujte stávající způsoby chránění VN sítě, vč. principů zajištění selektivity
2. Analyzujte poruchové události v distribuční síti.
3. Na základě analyzovaných dat proveďte revizi pravidel pro nastavování ochran v distribuční síti VN s ohledem na nové požadavky.
4. Navrhněte pilotní projekt pro ověření revidovaných pravidel pro nastavování ochran.

Seznam doporučené literatury:

- [1] GRYM, Rudolf. Chránění II: elektrická zařízení vysokého napětí, chránění zařízení v průmyslu. Havířov: Iris [Havířov], c2004. ISBN 80-903540-0-9.
- [2] DRIESEN, Johan. Rušení napětí: Úvod do nesymetrie. Dostupné z: http://www.gqee.unifei.edu.br/arquivos_upload/disciplinas/20/Leonardo%20Energy%20-%20Unbalanced%20Voltage.pdf
- [3] NOVÁK, Miroslav. Přečtový děj při zapnutí transformátoru. Liberec 2003. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Radek Hanuš Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **16.02.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne

.....
Tomáš Vízdal

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Radku Hanušovi, Ph.D. za poskytnutí odborných rad, včetně připomínek, ochotu a vstřícný přístup během zpracování této práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou nastavení ochran v distribuční síti vysokého napětí společnosti PREdistribuce, a.s.. V první části práce je zmapován současný stav distribuční sítě vysokého napětí, včetně principů chránění a zajištění selektivity. Druhá část je věnována analýze poruchových událostí, především délce trvání těchto poruch. V třetí části práce je na základě analyzovaných dat o poruchách provedena revize nastavení ochran, která musí respektovat požadavky jako například více rozpínacích stanic na linii a občasné výpadky při zapínání dlouhých linií. Dále je navržen pilotní projekt pro ověření nových pravidel pro nastavování ochran. V závěru je zhodnocena navrhovaná změna časových závislostí ochran a porovnán pilotní projekt se současným stavem.

Klíčová slova

Digitální ochrana, analogová ochrana, nadproudová ochrana, zkratová ochrana, poruchový zapisovač, výkonový vypínač, selektivita

Abstract

This bachelor thesis deals with the problem of setting protection in the middle voltage distribution network of PREdistribuce a.s. The first part of the thesis describes the current state of the middle voltage distribution network, including principles of protection and selectivity. The second part is devoted to the analysis of fault events, especially the duration of these failures. In third part of the thesis, based on the analyzed fault data, a revision of the protection settings is performed, which must respect requirements such as multiple line breakout stations and occasional outages when opening long lines. In addition, a pilot project is designed to validate new rules for setting up protection. In conclusion, the proposed change in time dependencies of the protection is evaluated and the pilot project is compared with the current state.

Key words

Digital relay, analog relay, overcurrent protection, short circuit protection, fault recorder, circuit breaker, selectivity

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Poruchy.....	8
2.1. Zkrat.....	8
2.2. Zemní spojení	9
2.3. Nesouměrné zatížení elektrizační soustavy.....	9
2.4. Přepětí.....	9
2.5. Ostatní poruchy.....	10
3. Ochrany	10
3.1. Parametry ochran.....	12
3.2. Základní členy ochrany	13
3.2.1. Vstupní člen	13
3.2.2. Popudový člen.....	15
3.2.3. Měřicí člen	15
3.2.4. Logika	16
3.2.5. Koncový člen.....	16
3.2.6. Časový člen	16
3.2.7. Napájecí člen.....	16
4. Výkonové vypínače.....	16
5. Stávající způsob chránění VN sítě PREdistribuce, a.s.	17
6. Přeřizovací jevy při připojování transformátoru.....	20
7. Analýza poruchových událostí v síti PREdistribuce a.s.	20
8. Revize pravidel pro nastavování stupně časové selektivity	22
8.1. Charakteristiky ochran v síti PREdistribuce	23
8.1.1. Ochrana MiCOM P122	23
8.1.1.1. Určení stupně časové selektivity pro ochrany MiCOM P122	24
8.1.2. Multifunkční ochrana 7SJ632.....	24
8.1.2.1. Určení stupně časové selektivity pro ochrany 7SJ632.....	25
8.1.3. Nadproudová ochrana 7SJ80.....	25
8.1.4. Ochrana REF630	25
8.1.4.1. Určení stupně časové selektivity pro ochranu REF630.....	25
8.1.5. Ochrana REX521.....	26
8.1.6. Ochrana SPAJ141C.....	26
8.2. Stanovení stupně časové selektivity v síti PREdistribuce a.s.....	26
8.3. Určení časově závislé křivky ochran.....	28
9. Závěr	30
10. Seznam použitých zdrojů.....	32
11. Seznam obrázků	33
12. Seznam grafů	33
13. Seznam tabulek.....	33
14. Přílohy.....	34

1. Úvod

Vysokonapěťové ochrany jsou klíčovým prostředkem pro ochranu elektrických zařízení v distribuční síti. Úkolem ochrany je odpojit oblast, kde došlo k poruše, například zkratu, nadproudu, zemnímu spojení, přepětí, podpětí, poklesu nebo zvýšení kmitočtu, od zbytku distribuční sítě. Poruchy v distribučních sítích jsou nežádoucí jevy, které způsobují nemalé finanční náklady. Včasné rozpoznání poruchy a její následné vypnutí chrání elektrická zařízení jako transformátory a elektrická vedení před poškozením, a tak umožňuje minimalizaci škod. Proto je v současné době kladen rostoucí důraz na zvyšování kvality detekce poruch v distribučních sítích a jejich včasné eliminaci. Tyto požadavky na rychlé řešení poruchových stavů přichází především z distribučních společností a průmyslu.

Průmysl se stále více automatizuje a výpadek elektrické sítě ať už je důvodem porucha nebo nadbytečné působení ochrany znamenají značné finanční ztráty, jak na straně distribuční společnosti, tak také na straně odběratele, kde dojde k zastavení výroby.

Včasného rozpoznání poruch roste na důležitosti v chytrých sítích, někdy označované „smart grids“, ve kterých odběratel může elektrickou energii vyrábět a zpět dodávat do distribuční sítě. V chytrých sítích může do místa poruchy, například zkratu, téct elektrický proud, jak ze strany distribuční sítě, tak i z odběratelské strany. Proto je jedním z hlavních pilířů chytrých sítí jejich automatizace. Tato automatizace v sobě zahrnuje spolupráci řídicího systému a digitálních ochrany, které monitorují chování distribuční sítě. Základním principem chytré sítě je tedy obousměrná komunikace mezi ochranou a řídicím systémem. Samozřejmě chytrá síť může zahrnovat i důležitou obousměrnou komunikaci řídicího systému se spotřebiči a spotřebiteli, čímž může distribuční síť pružně reagovat na události, které se v síti odehrávají.

Prvotním cílem této práce je revize pravidel pro nastavování ochrany v distribuční síti PREdistribuce, a.s. Zejména zkrácení vypínacích časů ochrany a zavedení časově závislé nadproudové charakteristiky nebo blokády zapínacích rázů. Zkrácení vypínacích časů ochrany má pozitivní vliv na životnost elektrických vedení a jiných elektrických zařízení nacházejících se v distribuční síti. Zároveň se tím zlepšuje ochrana osob, které se mohou vyskytovat v blízkosti poruchy, zejména zkratu a zemního spojení. Důvodem pro zavedení časově závislé nadproudové ochrany nebo blokády zapínacích rázů je více rozpínacích stanic na linii a občasné výpadky při zapínání dlouhých linií. Při zapínání dlouhých linií dochází po krátký časový úsek k nadproudu v dané linii a nechtěnému zapůsobení nadproudové ochrany.

Druhotným cílem této práce je navrhnout pilotní projekt pro ověření revidovaných pravidel nastavování ochrany. Pilotní projekt bude vypracován pro skutečnou oblast distribuční sítě PREdistribuce, a.s. a má reflektovat dopad nově zjištěných parametrů ochrany na distribuční síť.

2. Poruchy

Poruchy v elektrizační soustavě ohrožují bezpečnost provozu. Mezi nejčastější poruchy patří zkrat, zemní spojení, přetížení, přepětí, podpětí, nesouměrné ztížení, zvýšení kmitočtu, snížení kmitočtu.

2.1. Zkrat

Zkrat je vzájemné spojení dvou až tří fází nebo jedné fáze se zemí. Jestli jde o spojení fáze se zemí, tak záleží na tom, jak je uzemněný uzel. Když je uzel přímo uzemněný nebo uzemněný pomocí rezistoru, pak se jedná o zkrat. Pokud je uzel neuzemněný nebo uzemněný přes zhášecí tlumivku, tak se jedná o zemní spojení.

Zkraty můžeme rozlišovat na zkraty elektricky blízké a zkraty elektricky vzdálené. Zkrat elektricky blízký je takový zkrat, při kterém příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k předpokládanému počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje. Za elektricky blízký zkrat také můžeme považovat zkrat, při kterém příspěvek asynchronních motorů nelze zanedbat, protože překračuje 5 % počátečního souměrného zkratového proudu bez motorů. Pokud je zkrat elektricky vzdálený, tak velikost souměrné střídavé složky zkratového proudu se v čase téměř nemění. Časový průběh elektricky vzdáleného zkratu se blíží průběhu zkratu s ideálním napěťovým zdrojem. Souměrná střídavá složka zkratového proudu u zkratu elektricky blízkého se v čase mění.

Mezi hlavními příčinami zkratu je porucha izolace způsobená přepětím, zestárnutí izolačních materiálů případně mechanické poškození venkovních vedení a kabelů. Zdroji zkratových proudů ve střídavých soustavách průmyslového kmitočtu jsou synchronní stroje, především generátory, asynchronní stroje, síťové napaječe. Vliv polovodičových systémů se uvažují jen tehdy, pokud mohou při zkratu dodávat zkratový proud.

Počáteční rázový zkratový proud je efektivní hodnota střídavé souměrné složky zkratového proudu na počátku zkratu. Stejnosemnná někdy také aperiodická složka zkratového proudu je střední hodnota horní a dolní obalové křivky průběhu zkratového proudu. Stejnosemnná složka zkratového proudu je klesající ze své maximální hodnoty v době vzniku zkratu a klesá až do nuly. Souměrný zkratový proud je efektivní hodnota střídavé souměrné složky zkratového proudu se zanedbatelnou stejnosemnnou složkou zkratového proudu. V prvních okamžicích zkratu se uplatňuje počáteční rázový zkratový proud a stejnosemnná složka zkratového proudu. Nejvyšší hodnota zkratového proudu se označuje nárazový zkratový proud a nastává se obvykle na začátku zkratu. Po odeznění aperiodické složky zkratového proudu je zkrat tvořen souměrným zkratovým proudem. Pro praxi a dimenzování obvodu je také důležitý ekvivalentní oteplovací proud, což je efektivní hodnota proudu sinusového průběhu s konstantní amplitudou, který za dobu trvání zkratu vyvine stejné množství tepla jako zkratový proud s nejvyšší možnou aperiodickou složkou.

Důsledkem zkratu je zvýšené tepelné i silové namáhání distribučního vedení a spotřebičů. Příčinou zkratu je obvykle únava izolace, vliv počasí, špatná manipulace obsluhy. Při příliš velkém snížení činného výkonu v důsledku zkratu může dojít ke ztrátě stability synchronních generátorů a k rozpadu elektrizační soustavy.

2.2. Zemní spojení

Zemní spojení je spojení fáze se zemí v síti s izolovaným uzlem nebo uzlem uzemněným zhášecí tlumivkou. V sítích s poruchovým proudem převyšujícím přibližně 5 A vzniká oblouk. Hořící oblouk přepaluje vodiče a ničí izolátory. Malé sítě především lokální distribuční sítě průmyslových podniků jsou většinou provozovány s izolovaným uzlem. V těchto sítích dochází k samočinnému odstranění přechodných poruch jedné fáze proti zemi.

Nejčastěji je uzel uzemněn přes zhášecí tlumivku. Většina zemních spojení v těchto sítích se zhasí sama nebo je možné síť provozovat po nezbytně dlouhou dobu se zemním spojením, dokud nedojde k nalezení místa poruchy.

Dalším typem uzemnění uzlu je provoz zhášecí tlumivky spolu s rezistorem. Pokud probíhá zemní spojení, tak se připojí omezovací rezistor paralelně ke zhášecí tlumivce. Proud již nebude procházet jen indukčností, ale i rezistorem. Celkový poruchový proud se zvětší a vytvoří se podmínky pro zapůsobení ochrany. Nevýhodou tohoto řešení je vysoká pořizovací cena, protože je nutné použít tlumivku, rezistor a ochranu s vypínačem.

Kompenzace zemních proudů pomocí zhášecí tlumivky v sítích, kde zemní proud dosahuje více jak 5 A je vhodná a v sítích, kde zemní proud převyšuje hodnotu 10 A je nutná.

Důsledkem přerušovaného zemního spojení je vznik nebezpečných přepětí. Na zdravých fázích se mohou objevit napětí převyšující čtyřnásobek efektivního fázového napětí.

2.3. Nesouměrné zatížení elektrizační soustavy

Nesouměrné zatížení je provozní stav, v němž jsou fáze zatěžovány různým proudem. Nesouměrnost proudů snižuje kvalitu a hospodárnost sítě. Zdroje elektrické energie v třífázové soustavě musí být tedy symetrické. Princip činnosti synchronní strojů jako jsou generátory v elektrárnách tuto symetrii zaručují. Důsledkem nesouměrného zatížení vzniká zpětná složka proudu vytvářející magnetické pole, které se otáčí dvojnásobnou úhlovou rychlostí rotoru v opačném směru. Motor se může přehřívat, protože se v jeho rotoru při nesouměrném zatížení indukují vířivé proudy[5].

2.4. Přepětí

Atmosférické přepětí vzniká úderem blesku do vedení nebo elektrických zařízení. Vzniká také indukci ve vodičích v jejich blízkosti blesk udeřil. Provozní přepětí způsobují spínací děje obvodů s velkou indukčností.

Při zemním spojení dochází k přepětí, toto přepětí je ovlivněno impedancí vedení a odrazy na vedení. Obecně platí, že čím větší je impedance soustavy, tím větší přepětí lze očekávat. Přepětí způsobená zemním spojením se dá omezit uzemněním uzlu soustavy zhášecí tlumivkou.

Spínací přepětí vznikají při spínacích procesech. Hodnota přepětí je závislá na impedanci sítě a zátěže. Vznikají například při zapínání nezátížených vedení a zkratech.

Přepětí vzniklá při vypínání zkratů a velmi ho ovlivňuje vypínací prvek, který provádí vypnutí. V případě vypínače jsou důležitými parametry tvar elektrod, rychlost odskoku elektrod a chemické prostředí v němž se elektrody nachází. Vypínačům je dále v textu věnována kapitola.

Pulzní přepětí trvají jen krátký okamžik, standardně trvají pár nanosekund až milisekund. Mají velmi negativní vliv na elektronická zařízení obsahující polovodičové součástky, které může pulz prorazit.

K ochraně před přepětím slouží přepěťové ochrany. Přepěťová ochrana musí být zvolena tak, aby ochranná napěťová hladina byla pod úrovní elektrické pevnosti elektrických zařízení vyskytujících se v chráněné soustavě. Přepěťové ochrany pracují na principu změny impedance v závislosti na velikosti napětí. Základním kritériem je, aby přepěťová ochrana měla za normálních, tedy jmenovitých hodnotách chráněné sítě tak velkou impedanci, že jí nebude procházet žádný nebo téměř nulový proud. V případě nárůstu napětí musí ochranný prvek snížit svojí impedanci a dovést odvést přebytečnou energii ze sítě. Po ukončení přepěťového stavu musí ochranné zařízení obnovit svou původní impedanci a omezit velikost odváděného proudu na nulu. Přepěťová ochrana musí umět pracovat opakovaně bez vlastního poškození.

Nejčastějšími ochrannými zařízeními jsou omezovače přepětí, bleskojistky a jiskřiště. Omezovače přepětí využívají napěťově závislých odporů, většinou to jsou odpory z kysličníku zinečnatého ZnO. Elektrické vlastnosti kysličníku zinečnatého umožnili vyrábět omezovače přepětí bez zapalovacího jiskřiště. Jde o polovodičovou součástku jejíž vodivost je dána nejen velikostí přiloženého napětí, ale též okolní teplotou. Zvýšená teplota zároveň zvyšuje vodivost ZnO a tím roste i průchozí proud za normálního stavu sítě. Hojně jsou používány také ventilové bleskojistky. Ventilová bleskojistka se skládá z jiskřišť zapojených v sérii a sériového odporu. Jiskřiště jsou uzavřené ve vzduchotěsném porcelánovém válci, jehož vnitřní prostor je vyplněn takzvaným suchým vzduchem pro eliminaci vzdušné vlhkosti. Jiskřiště se skládá z vodivých kroužků nepříliš od sebe vzdálené, tím se jiskřiště předionizují, aby mohly co nejrychleji odvést proud[4].

Přepětí způsobuje stárnutí izolace, a v konečném důsledku i její poškození a zkrat.

2.5. Ostatní poruchy

Podpětí může být způsobeno špatnou kompenzací přetížení. V důsledku podpětí vzniká proudové přetížení.

Přetížení znamená průchod příliš velkého množství energie soustavou, to vede k zatěžování zařízení vyšším proudem než jmenovitý a následně i tepelnému zatížení.

Zvýšení kmitočtu bývá způsobeno poruchou regulace výkonu generátoru.

Ke **snížení kmitočtu** dochází při přetížení zdrojů energie pracujících do sítě, to zvyšuje magnetizační proudy, oteplení a tím i ztráty.

3. Ochrany

Ochrana je zařízení, které neustále monitoruje bezpečnost a spolehlivost části elektrického systému. Ochrana získává data o chování sítě pomocí přístrojových transformátorů, případně i jiných čidel. Přístrojovými transformátory se myslí měřicí transformátory proudu a napětí. Ochrana musí umět rozlišit, je-li chráněné zařízení v mezích normálního provozu nebo zad chráněný objekt pracuje s poruchou[6].

Chráněný objekt je elektrické zařízení, které přenáší energii v rámci svého okolí. Okamžitý stav chráněného objektu se určuje pomocí stavových veličin jako je napětí, proud, impedance, okamžitý výkon a kmitočet.

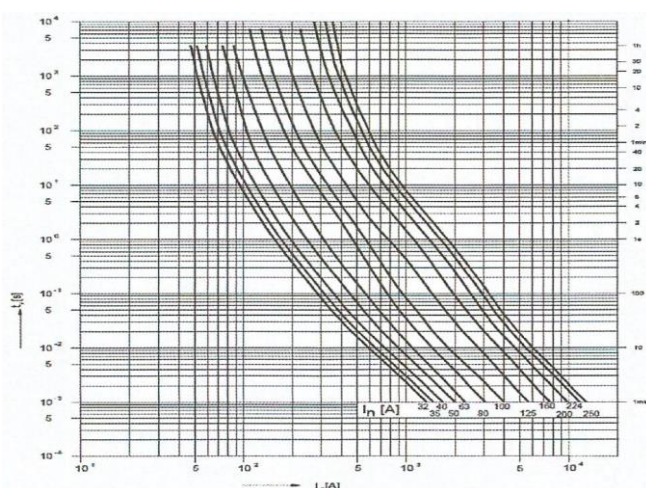
Porucha je fyzikální změna chráněného objektu, která nedovoluje normální provoz tohoto objektu.

Základním úkolem ochrany je zabezpečit, aby nedošlo k takovému oteplení elektrických zařízení, které by je mohlo poškodit.

Ochrany se dají třídit: dle chráněného objektu, například jde o ochrany generátoru, vedení, kabelu, transformátoru, odporníku a motorové ochrany apod[6].

- dle druhu poruchy, zkratová, podpěťová, přepěťová...
- dle doby působení na: a.) časově závislé, to jsou pojistky
 - b.) časově polo závislé, jde o kombinaci s nezávislou charakteristikou
 - c.) časově nezávislé
 - d.) Mžikové

Časově závislé ochrany jsou tavné pojistky. Tavné pojistky jsou jedny z prvních a nejjednodušších ochran. Pojistky jsou nadproudové a zkratové ochrany. Vlastnosti pojistky udává tavná ampérsekundová charakteristika pojistky, tedy závislost vypínacího času na procházejícím proudu pojistkou $t_{\text{vyp}}(i)$. Pokud je proud procházející tavnou pojistkou větší jak jmenovitý proud pojistky a průchod tohoto proudu trvá déle než předepsanou dobu, tak dojde k přetavení tavného drátku a rozpojení proudově přetíženého obvodu. V současné době se vysokonapěťové pojistky v distribučních sítích téměř nevyskytují. Setkat se s tavnými pojistkami můžeme při jištění transformátorů malých výkonů v konečných transformačních stanicích. Například maximální výkon transformátoru, který může být chráněn pojistkami na napěťové hladině 24 kV, je 1 600 kVA. Transformátoru s výkonem 1 600 kVA odpovídá 80 A pojistka. Tyto hodnoty jsou převzaty z tabulky tab. 1. firmy DRIBO, spol. s.r.o., tabulku naleznete v přílohách. Vysokonapěťové pojistky se vyrábějí v různých amperážích od několika stovek miliampér až po několik stovek ampér. Pojistky do 1 A se používají při ochraně měřících transformátorů napětí. V praxi jsou pro standardní měřící napěťové transformátory používané 300 mA pojistky. Pro ochranu výkonových transformátorů jsou určeny pojistky od 6,3 A. Pojistka 6,3 A odpovídá zdánlivému výkonu transformátoru 50 kVA. Graf časově závislé ochrany je vidět na obrázku 1.



Obrázek 1.: ampérsekundová charakteristika pojistky

Obrázek 1. Obrázek 1.: ampérsekundová charakteristika pojistky

Časově nezávislá ochrana zapůsobí v nastaveném čase t_k po dosažení proudu i_k . Doba zapůsobení ochrany nezávisí na velikosti proudu $i > i_k$.

Mžiková ochrana je v principu časově nezávislá ochrana, která účinkuje při překročení nastaveného proudu i k bez zpoždění.

Dále ochrany dělíme: dle funkčního principu na proudové, napěťové, distanční, rozdílové a srovnávací.

- dle konstrukce na elektromechanické, tranzistorové, číslicové (digitální)
- dle funkce základní a záložní ochrana
- dle připojení k chráněnému objektu na primární, to je ochrana, která ke svému chodu nepotřebuje přístrojové transformátory, a sekundární, sekundární ochrana je připojena k objektu pomocí přístrojových transformátorů nebo senzorů

3.1. Parametry ochran

Ochrany musí splňovat několik kritérií, aby mohly být nasazeny do provozu.

- 1.) **Spolehlivost funkce ochrany** je pravděpodobnost, že ochrana nebude v poruše a vykoná funkci k níž je určena a zároveň, že ochrana nezapůsobí nadbytečně.
- 2.) Ochrana musí být odolná proti rušení. V energetických provozech se vyskytují elektrická a magnetická pole, otřesy, agresivní plyny v okolí průmyslových podniků a elektráren. Tyto vlivy nesmí ochranu poškodit.
- 3.) **Rychlost ochrany** se určuje z doby zapůsobení ochrany.
- 4.) **Citlivost ochrany** je nejmenší velikost měřené stavové veličiny, při které ochrana rozliší, jestli je ve stavu, kdy má působit nebo ne.
- 5.) Chybu citlivosti ochrany vyjádřenou v procentech se nazývá **přesnost ochrany**.
- 6.) **Nañídítelnořt ochrany** určuje rozsah hodnot měřené stavové veličiny, na které lze nastavit citlivost ochrany.
- 7.) Časová prodleva mezi vznikem poruchy a signálem na výřtupu ochrany je **dořba působení ochrany**.
- 8.) **Rozlišovací řchopnořt ochrany** vyjadřuje, jestli ochrana rozezná dva blízké stavy chráněného objektu, z nichž jeden ze stavů je stavem poruchovým a druhý ne.
- 9.) **Přetížitelnořt ochrany** je nejvyšší možná hodnota vstupní veličiny, která neohroží životnořt ochrany.
- 10.) **Zálohování ochran** - v případě selhání hlavní ochrany je nutné zajistit vypnutí ochrany ochranou záložní.
- 11.) **Selektivita ochran** je řchopnořt ochrany nezapůsobit mimo chráněný objekt nebo na poruchy dané stavovou veličinou, na kterou ochrana nesmí zareagovat. Selektivita ochran zaručuje vypnutí co nejmenšího úřeku elektrizační souřtavy v poruchovém stavu. Jde o vypnutí sítě, co možná nejbliže od místa poruchy. Selektivitu lze zajistit následujícími opatřeními:
 - a.) Časovým odřtupňováním vypínacích časů - nadřazená ochrana bude mít delší časovou základnu, respektive bude pomalejší než podřizená ochrana.
 - b.) Odstupňováním hodnot nastavených stavových veličin.
 - c.) Měřením několika veličin současně, to splňují například impedanční ochrany.
 - d.) Měřením veličiny na více místech, například rozdílové a srovnávací ochrany. Problémem takového řešení je, že se musí zajistit rychlá komunikace mezi místy měření. Tato komunikace nesmí být při své cestě ruřená, tento problém řeší použití optických kabelů pro přenos informace.
 - e.) Směrovým nastavením ochran.
- 12.) **Stupeň časové selektivity** je časové zpoždění ochran zpravidla dvou sousedních úřeků

3.2. Základní členy ochrany

Ochran se skládá z několika základních členů, a to vstupního členu, popudového členu, měřicího členu, logiky, časového členu a napájecího členu.

3.2.1. Vstupní člen

Vstupní člen má za úkol převést vstupní signál z přístrojových transformátorů, popřípadě senzorů na takový tvar a úroveň, který je dále ochranou zpracovatelný. Standardní vstupní hodnoty ochran jsou 100 V, 5 A, 1 A a 0,2 A nebo 150 mV pro senzory. Digitální ochrany mají vstupní členy tvořené AD převodníky. Vstupní analogový signál je AD převodníky převeden na diskretní signál pro potřeby digitálního měřicího členu.

V distribučních sítích se stavové veličiny sítě jako je napětí a proud, nejčastěji měří pomocí přístrojových transformátorů napětí a proudu.

Přístrojový transformátor napětí (PTN) je jednopólový jednofázový transformátor. Galvanicky odděluje vysokonapěťovou síť od měřicích přístrojů. Primární vinutí měřicího transformátoru napětí je realizováno velkým počtem závitů, které jsou navíjeny tenkým měděným drátkem pro zaručení vysoké impedance. Sekundární vinutí má menší počet závitů. Napětí na svorkách sekundárního vinutí je obvykle 100 V. První závity primárního vinutí musí mít zesílenou izolaci, jelikož je na ně kladeno velké napěťové namáhání. Důvodem tohoto namáhání je právě značná impedance transformátoru, která odráží impulzy napětí. Indukční složka impedance transformátoru způsobuje ferorezonanci. Ferrerorezonanci způsobuje vzájemné působení indukčnosti transformátoru a kapacita vedení nebo spínacích prvků. Při ferorezonanci dochází k přepětí spojené s proudovými špičkami a magnetickému přesycení jádra přístrojového transformátoru napětí. Proud tekoucí do primárního vinutí měřicího transformátoru napětí se doporučuje jistit pojistkou. Ferrerorezonance se může omezit připojením inteligentní zátěže na pomocná vinutí měřicích transformátorů. Nedostatečná ochrana před ferorezonancí může vést k destrukci přístrojového transformátoru.

Přístrojový transformátor proudu (PTP) je jednofázový transformátor, který se připojuje do série s měřenou sítí. To znamená, že transformátor musí vydržet zatížení zkratovými proudy po předepsanou dobu. Například krátkodobý tepelný proud měřicího transformátoru proudu CTS 25 firmy KPB Intra s.r.o., který je určen pro instalaci do distribučních sítí s napětím 22 kV, je 80 kA/1s a maximální dynamický proud je 200 kA.

Jelikož se v rámci této práce zabývám především stupněm časové selektivity pro nadproudové a zkratové ochrany, tak se přístrojovými transformátory proudu budu zabývat detailněji.

Primární vinutí měřicího transformátoru proudu obsahuje zpravidla jeden závit nebo velmi malý počet závitů. Proud na výstupu sekundárního vinutí bývá 5 A nebo 1 A.

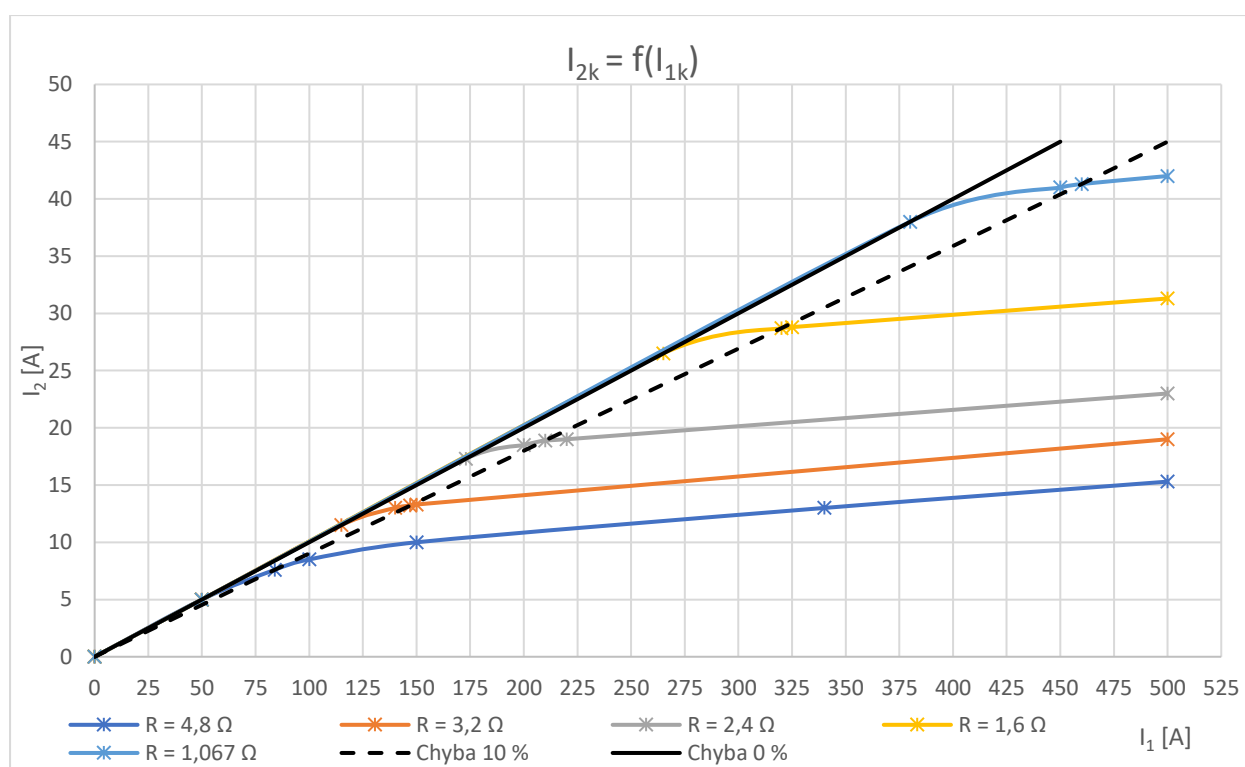
Ochrany pracují ve spolupráci s jistíci přístrojovými transformátory proudu (PTP), které charakterizuje norma ČSN EN 61 869-2. Klíčové vlastnosti PTP jsou jmenovitý převod, normalizovaná třída přesnosti, například 5P a 10P, jmenovité břemeno, což je jmenovitá zátěž sekundárního obvodu PTP, a nadproudovým číslem.

Jmenovité břemeno můžeme vypočítat z údajů o převodu PTP a jeho výkonu. Uvedu příklad výpočtu pro PTP se zdánlivým výkonem 30 VA a převodem 50/5 A:

$$S = U \cdot I = Z \cdot I^2 \gg Z = \frac{S}{I^2} \quad (1)$$

$$Z_n \text{ pro } I_{n2} = 5 \text{ A je } Z_n = \frac{30}{5^2} = 1,2 \Omega \quad (2)$$

Z výpočtu uvedeného výše vidíme, že velikost břemena je poměrně malá. Proto pro převody PTP X/5 A platí, že kabely od PTP k ochranám by měli být co možná nejkratší. Pokud je velikost břemena vyšší, než je jmenovitá hodnota PTP, tak přesnost PTP klesá, a to obzvláště při nadproudech, jinými slovy klesá velikost nadproudového čísla. Jestli jsou ochrany příliš vzdáleny od PTP, pak je nutno volit PTP s převodem X/1 A. Názorněji demonstrovat rostoucí chybu převodu PTP můžu na grafu Graf 1. Kde je dobře vidět mez magnetického nasycení feromagnetického jádra PTP, tedy koleno křivky, v závislosti na velikosti břemena.



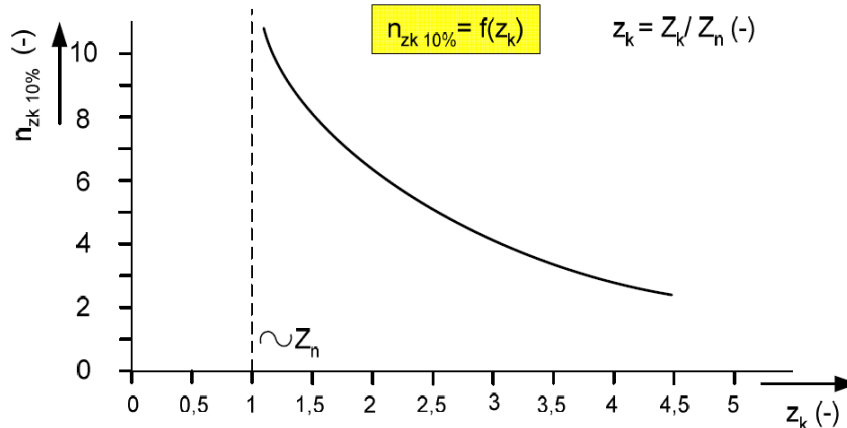
Graf 1: závislost $I_{2k} = f(I_{1k})$

Nadproudové číslo můžeme vypočítat podle:

$$= \frac{\text{Nadproudové číslo PTP pro danou zátěž} - n_{zk10\%}}{\text{Primární proud } I_1 \text{ při dané zátěži, kdy dosáhla chyba převodu PTP 10\%}} \quad (3)$$

$$= \frac{\text{Jmenovitý primární proud PTP } I_{1n}}{\text{Primární proud } I_1 \text{ při dané zátěži, kdy dosáhla chyba převodu PTP 10\%}}$$

Následující Obrázek 2 zobrazuje závislost nadproudového čísla na velikosti břemene.



Obrázek 2: závislost $n_z=f(z_k)$, kde z_k je v poměrných jednotkách

Primární a sekundární vinutí spolu s magnetickým obvodem přístrojových transformátorů jsou zality v epoxidové pryskyřici, z které je vyvedena svorkovnice pro zapojení měřicích přístrojů ať už ochran nebo fakturačního měření.

3.2.2. Popudový člen

Vysílá signál měřicímu členu a logice v případě vzniku poruchy. To, jestli ochrana začne působit závisí na logice a měřicím členu. Popudový člen zajišťuje aktivaci dalších obvodů. Citlivost popudového členu je vyšší než měřicího členu.

3.2.3. Měřicí člen

Rozhoduje, jestli došlo k poruše v sledovaném obvodu. Na vstupy měřicího členu je přiváděn diskretní signál z AD převodníku, který reprezentuje stav chráněného objektu. Měřicí člen provádí matematické operace jako je určení efektivní a střední hodnoty přivedené veličiny, komparaci a podobně. Podle jejich funkce a určení rozlišujeme šest typů měřicích členů.

Amplitudový měřicí člen sleduje velikost proudu nebo napětí. V případě, že dojde k překročení těchto veličin ochrana zapůsobí. Bývá používán v proudových a napěťových ochranách. Amplitudový člen se dále dělí na čtyři typy podle zjišťované veličiny.

- Střídavý amplitudový člen na střední hodnotu
Zjišťuje střední hodnotu:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt \quad (4)$$

T...perioda měřeného signálu
x(t)...průběh měřené veličiny

- Střídavý amplitudový člen na efektivní hodnotu
Měří efektivní hodnotu:

$$K = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} \quad (5)$$

- Stejnoseměrný amplitudový člen
Měří velikost stejnosměrné veličiny:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (6)$$

- Amplitudový člen na maximální hodnotu zaznamenává maximální dosaženou hodnotu.

Závislý měřicí člen sleduje velikost proudu nebo napětí v závislosti na době trvání poruchy. **Rozdílový měřicí člen** porovnává amplitudy vstupních veličin. Ochrana zapůsobí, pokud se velikosti amplitud liší o nastavenou hodnotu K. Tento měřicí člen je použit v rozdílových ochranách.

Amplitudový komparátor je druh rozdílového měřicího členu. Amplitudový komparátor zapůsobí při jakékoliv rozdílu mezi vstupními veličinami. Jinými slovy to je rozdílový měřicí člen, která se nastavuje na nulovou hodnotu $K=0$.

Součinný měřicí člen je používán ve wattových a jalových ochranách.

Fázový komparátor porovnává zatížení fází, jde o druh součinného měřicího členu, jehož citlivost se blíží nule.

3.2.4. Logika

Přijímá signál z popudu a řídí funkci měřicího členu. Na základě výsledů z měřicího členu dává instrukce koncovému členu. Logika je sestavená z relé, diod, tranzistorů u digitálních ochran i z integrovaných obvodů a číslicových procesorů.

3.2.5. Koncový člen

Upravuje signál logiky tak, aby mohl být přiveden do vypínače. Výkonový vypínač následně rozpojí obvod, v němž nestala porucha. Další úlohou koncového členu je signalizovat vznik poruchy.

3.2.6. Časový člen

Časový člen komunikuje s logikou. Zajišťuje selektivitu ochrany, zpožděním umožňuje funkci ochrany, která je blíže k místu poruchy. V případě, že dojde k detekci poruchy, která trvala jen krátký okamžik, tak vyloučí nechtěné zapůsobení ochrany.

3.2.7. Napájecí člen

Provádí napájení ochrany. Napájení ochrany může být provedeno několika způsoby, vždy závisí na typu ochrany. Některé ochrany mohou být i bez napájení třeba pojistky. Zdroj energie pro ochrany musí být nezávislý na napájecí síti, protože v případě zapůsobení ochrany a vypnutí sítě by vypla i sama sebe. To se řeší napájením přes akumulátor, případně staniční baterie

4. Výkonové vypínače

Výkonové vypínače jsou přístroje schopné vypnout jmenovité i zkratové proudy. Na rozdíl od odpojovačů mohou vypínat a spínat obvod při zatížení. Výkonové vypínače pro obvody vysokého napětí rozdělujeme podle způsobu zhasínání oblouku. V současné době se můžeme setkat zejména s vakuovými vypínači, plynovými vypínači a kapalnými vypínači.

Vakuové vypínače se čím dál více používají pro své velké výhody. Díky použití hlubokého podtlaku v řádu 10^{-5} jsou nehořlavé, nemají žádný odpadní plyn a výrazně nižší obloukové napětí, takže energie elektrického oblouku je nižší než v jiných druzích vypínačů. Vysoká elektrická pevnost téměř vakuového prostředí pólů vypínače umožňuje mít téměř minimální zdvih kontaktů pár desítek milimetrů. Jeden kontakt vakuového vypínače je pohyblivý. Při vypínání se oddálí mezi kontakty vznikne oblouk v prostředí odpařeného kovu z ploch kontaktů. Kovové páry v oblouku mají vysoký tlak a při průchodu proudem nulou expandují a kondenzují na površích kontaktů a stínícího plechu. Ke znovu zapálení oblouku nedojde, protože se vypařený kov již rozptýlil. Vakuové vypínače vyžadují minimální údržbu. Zhášecí komora je uzavřená a dovoluje použití vakuového vypínače v prakticky v jakémkoliv prostředí. Kvůli malému obloukovému napětí je ztrátový výkon nízký a vypínač se tolik nezahřívá.

V distribuční síti PREdistribuce a.s. se využívají právě vakuové vypínače. V některých starších rozvodnách se můžeme setkat i s máloolejovými vypínači.

Vypínače elektrického vedení musí umět vypínat elektricky blízké zkraty, vedení naprázdno a mít prioritu funkce vypnutí. Vypínač by měl být uzpůsoben pro funkci opětovného zapínání s přestávkou v beznapěťovém stavu odpovídající obnovení provozu postiženého úseku elektrizační soustavy. Časy spínání jednotlivých pólů vypínače se nesmí lišit o více než 5 ms. Vypínače velkých elektroenergetických bloků a bloků vyšší důležitosti by měli obsahovat dvě na sobě nezávislé vypínací cívky.

5. Stávající způsob chránění VN sítě PREdistribuce, a.s.

Vysokonapěťová distribuční síť PREdistribuce, a.s. je provozována na napěťové hladině 22 kV. V síti PREdistribuce jde především o ochranu venkovních a kabelových vedení. Pro účel ochrany kabelových vedení se distribuční síť PREdistribuce, a.s. chrání proti nadproudu a zkratu. V pražské distribuční síti jsou použita kabelová vedení s kabely o průřezu 240 nebo 120 mm².

Distribuční síť PREdistribuce, a.s. začíná v transformačních stanicích, kde se transformuje napětí přenosové soustavy, které je 110 kV, na napětí distribuční soustavy. K chránění transformátorů v transformačních stanicích jsou používány rozdílové ochrany spolu s ochranou proti nadproudu, přepětové ochrany a kostrové ochrany transformátoru. Důvodem chránění výkonového transformátoru je jeho vysoká pořizovací cena a časová výrobní náročnost. Účelem těchto ochrany je zaručit bezpečný chod výkonového transformátoru a dostatečně kvalitní parametry distribučního napětí. Nadproudová ochrana spolu s rozdílovou ochranou hlídají transformátor proti proudovému přetížení, jehož důsledkem by došlo k překročení dovoleného oteplení výkonového transformátoru. Překročením dovoleného oteplení degradují izolační vlastnosti izolace vinutí transformátoru, což zkracuje jeho životnost. Pokud by tepelná zátěž překročila meze dané výrobcem transformátoru na delší dobu, tak by mohlo dojít k tepelnému průrazu a vzplanutí transformátorového oleje. Tepelný průraz nastává při nadměrném zahřívání izolantu, které nestačí vzniklé teplo odvádět svým povrchem do okolí. Tepelný průraz lze oddálit nuceným oběhem chladiva, například umístěním ventilátorů na žebra tepelného výměníku transformátoru. Ventilátor zrychlí proud vzduchu, který z žebírek tepelného výměníku transformátorového oleje odvede teplo do okolí. Úkolem přepětové ochrany transformátoru je ochránit transformátor před nežádoucím přepětím a možnému elektrickému průrazu izolace vinutí nebo částečným výbojům. I elektrický průraz může způsobit vzplanutí transformátorového oleje. Obecně platí, že elektrický průraz je výrazně rychlejší událost než

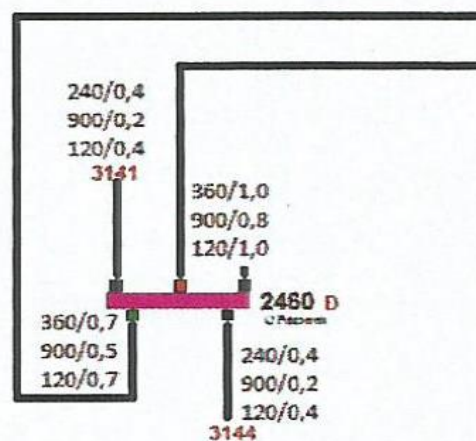
tepelný průraz. Částečné výboje narušují kvalitu izolace vinutí transformátoru a elektrickou pevnost transformátorového oleje. Částečnými výboji dochází v transformátorovém oleji ke vzniku nečistot jako jsou saze a plyny rozpuštěné v oleji. Konečnou fází částečných výbojů je průraz izolace vinutí transformátoru. Transformační stanice na straně distribučního napětí obsahují první stupeň nadproudové a zkratové ochrany pro ochranu distribučních vedení.

Distribuční síť dále pokračuje z transformační stanice do rozpínacích stanic. Rozpínací stanice jsou vybaveny nadproudovými a zkratovými ochranami. Tyto ochrany jsou umístěny jak na vstupu do rozpínací stanice, tak na všech výstupech z rozpínací stanice. Rozpínacích stanic může být několik v linii. Z poslední rozpínací stanice vede vysokonapěťové distribuční vedení do transformační stanice, kde se napětí transformuje z 22 000 V na 400 V. V této transformační stanici dochází k přechodu z vysokonapěťové distribuční sítě na nízkonapěťovou distribuční síť. Na vysokonapěťové straně distribuční sítě transformační stanice je umístěn poslední stupeň nadproudových a zkratových ochran.

Nedílnou součástí každé ochrany je výkonový vypínač. Existuje celá řada výkonových vypínačů, v síti PREdistribuce, a.s. se používají vypínače vakuové, plynové a máloolejové. Výkonový vypínač pracuje ve spolupráci s ochranou. Ochrana monitoruje parametry sítě pomocí přístrojových transformátorů. Pokud je ochrana jen nadproudová a zkratová jako v případě chránění distribuční sítě PREdistribuce, a.s., tak stačí použít pouze měřicí transformátory proudu. Každá nadproudová proudová ochrana potřebuje minimálně tři přístrojové transformátory proudu umístěné na fázích sítě. Vývody ze sekundárních vinutí měřicích transformátorů proudu jsou přivedeny na příslušný vstup ochrany. Ochrana pak neustále porovnává velikost elektrického proudu protékajícího fázemi distribuční sítě v místě instalace měřicích transformátorů proudu s nastavenou hodnotou nadproudu a zkratového proudu. Pokud dojde k překročení nadproudů, které mohou sítí protékat jen po určitou dobu nastavenou v ochraně, nebo překročení zkratového proudu, tak ochrana vyšle signál výkonovému vypínači, který proudově přetížený obvod vypne.

V rámci této práce mě zajímají právě nadproudové a zkratové ochrany ve vysokonapěťové distribuční síti PREdistribuce, a.s. Tyto ochrany se vyskytují v transformačních stanicích 110 kV / 22 kV na straně 22kV vedení, na vstupu a výstupu každé rozpínací stanice a na 22 kV hladině transformační stanice 22 kV / 0,4 kV.

Distribuční síť PREdistribuce a.s. využívá ochrany s časovým zpožděním, což zaručuje selektivní působení. Takové ochrany jsou přípustné tam, kde vypnutí zkratů s časovým zpožděním je možné z hlediska spolehlivého a bezpečného provozu elektrizační soustavy a přípustného rozsahu škod vzniklých zpožděným vypnutím nebo, kde ochrana působí jako záložní. Ochrany s časovou selektivitou zaručují takzvanou relativní selektivitu, které se docílí právě stupňovitým nastavením vypínacího času a proudu. Naopak rozdílové a srovnávací ochrany mají takzvanou absolutní selektivitu,



Obrázek 3.: ukázka nastavení ochran v rozpínací stanici.

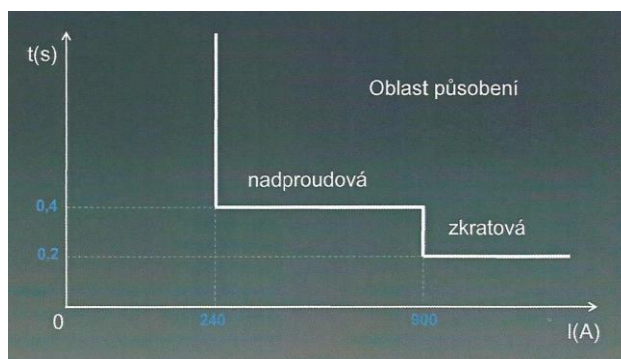
u těchto ochran nezáleží na časovém zpoždění.

Maximální možný proud zkratu, který může sítí protékat je 900 A a maximální nadproud je 360 A. Nejkratší čas pro vypnutí zkratů a nadproudů je v koncových transformačních stanicích transformujících napětí z 22 000 V na 400 V. Časový limit, po kterém následuje vypnutí zkratu v koncové transformační stanici je 200 ms. Platí pravidlo, že k vypnutí nadproudů dojde o 200 milisekund později než k vypnutí zkratů. To znamená, že časový limit, po kterém dojde k vypnutí nadproudů v koncové transformační stanici je za 400 ms.

V každém dalším vyšším stupni je tento čas pro vypnutí zkratu i nadproudů prodlužován o 300 ms. To znamená, že v rozpínací stanici před konečnou transformační stanicí je čas pro vypnutí zkratu 500 ms a pro vypnutí nadproudů 700 ms. Takže stupeň časové selektivity je v distribuční síti právě 300 ms.

Obrázek 3 reprezentuje nastavení ochran v rozpínací stanici před transformační stanicí 22 kV / 0,4 kV. Na obrázku 2 vidíme dva vývody do transformačních stanic s nastavenými nadproudy 240 A po dobu 200 ms a zkraty 900 A po dobu 400ms. Dále vidíme přívod nebo vývod do rozpínací stanice stejné úrovně, ochrana tohoto přívodu je nastavené na nadproud 360 A po dobu 700 ms a zkrat je nastaven na 900 A po dobu 500 ms. Poslední vedení, které na obrázku vidíme, je přívod elektrické energie z nadřazené rozpínací stanice, toto vedení je chráněno proti nadproudu 360 A po dobu 1 s a proti zkratu 900 A po dobu 800 ms. Pro jednoduchost budu dále uvádět nastavení ochrany následovně (proud v ampérech před, kterým chráním síť)/(čas vypnutí v sekundách) například 900/0,2.

Těmito časovými rozestupy vypínacích časů je nastavena selektivita ochran. Nejdříve by měli zapůsobit ochrany s nejnižším nastaveným vypínacím časem a vypnout tak jen oblast poruchy. Může se stát, že dojde selhání ochrany, potom vypíná ochrana nadřazená. Nadřazená ochrana, ale vypne více oblastí, respektive větší část distribuční sítě, a to je nežádoucí. Časové charakteristiky ochran jsou časově nezávislé. Nastavení časově nezávislých ochran v distribuční síti ukazuje Obrázek 4.



Obrázek 4.: ampérsekundová charakteristika časově nezávislé ochrany

Tabulka 1: aktuální nastavení ochran

	1. úroveň	2. úroveň	3. úroveň	4. úroveň
Nadproudová ochrana	360 A / 1,3 s	360 A / 1 s	360 A / 0,7 s	240 A / 0,4 s
Zkratová ochrana	900 A / 1,1 s	900 A / 0,8 s	900 A / 0,5 s	900 A / 0,2 s
Ochrana uzlu	240 A / 1,3 s	120 A / 1 s	120 A / 0,7 s	120 A / 0,4 s

Mým úkolem je prozkoumat možnosti snížení nastavovaných hodnot vypínacích časů ochran. Především časových prodlev mezi různými úrovněmi rozpínacích stanic, které jsou nyní 300 ms. Na přenastavení časů mají největší vliv vypínače, u kterých rozhoduje za jak dlouhou dobu jsou schopny zkrat nebo nadproud vypnout. Moderní vakuové vypínače můžeme považovat za nejrychlejší, jelikož dokáží vypínat nadproud a zkrat během 60 ms.

6. Přejchodový jev při připojování transformátoru

Součástí této práce je také probrat možnosti změny časově nezávislé charakteristiky na časově závislou u nastavování nadproudu. Důvodem jsou proudové rázy při zapínání dlouhých linií s několika rozpínacími stanicemi. Výrazným zdrojem nadproudů jsou děje při připojování transformátorů. Proto několik dalších odstavců popisuje přechodové děje při připojování transformátorů.

Impedance připojovaných vedení ovlivňuje velikost zapínacího proudu. V případě připojování transformátorů jde o impedanci primárního vinutí.

Při připojení transformátoru naprázdno na síť vzniká přechodový děj, který má za následek nárůst proudu. Proud naprázdno bude mít indukční charakter. Indukční tok potřebný k vytvoření magnetického pole je ve fázi s magnetizačním proudem. Magnetizační proud bude díky indukčnosti vinutí zpožděn o 90° za napětím.

Proud před připojením transformátoru k síti je nulový, po připojení transformátoru musí být okamžitě zpožděn za napětím právě o 90°. Jelikož nemůže dojít k okamžité změně proudu, vytvoří se stejnosměrná složka, která zvýší amplitudu proudu naprázdno, a tak vznikne proudový ráz. Při připojení transformátoru vzniká střídavá i stejnosměrná složka indukčního toku. Stejnosměrná složka indukčního toku má opačnou hodnotu než počáteční střídavá složka. Pokud je při připojení transformátoru okamžitá hodnota napětí nulová, tak je maximální okamžitá hodnota stejnosměrného indukčního toku a celková hodnota indukčního toku může být až dvojnásobná. Počáteční hodnota proudu naprázdno je dvacetkrát až šedesátkrát větší než jmenovitý proud transformátoru naprázdno[8].

Pro maximální hodnotu zapínacího proudu platí vztah:

$$I_{zmax} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot N_1^2 \cdot \mu_0 \cdot \frac{S}{l}} [A] \quad (7)$$

kde je U_1 primární efektivní napětí připojovaného transformátoru

f frekvence sítě 50 Hz

N_1 počet závitů primárního vinutí transformátoru

S střední průřez primárního vinutí transformátoru

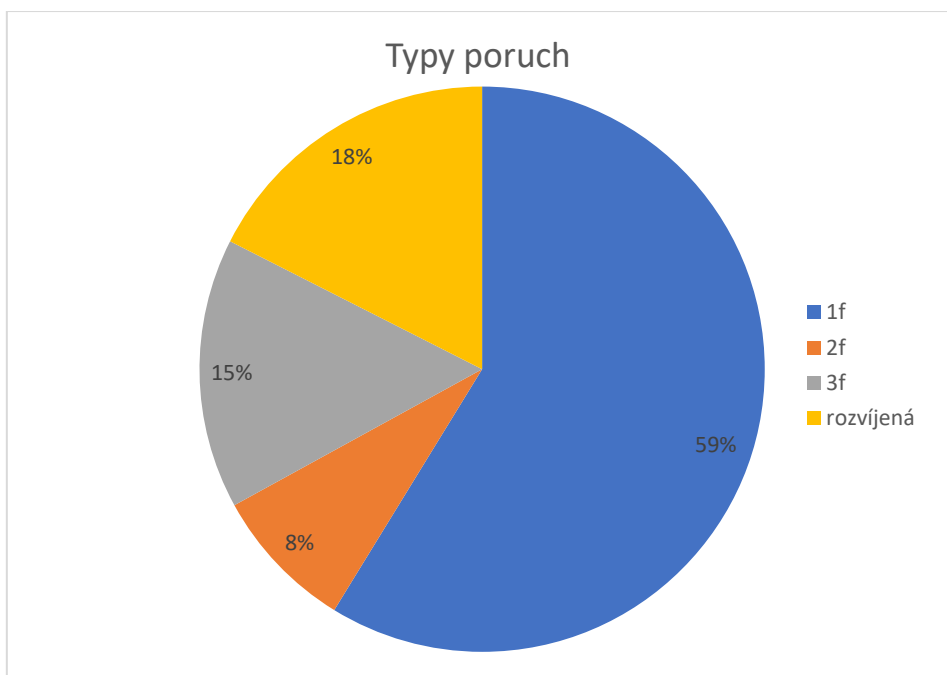
l výška primárního vinutí transformátoru (délka cívky)

Z výše pospaný skutečností vyplývá, že je vhodné transformátory připojovat v okamžiku, kdy je okamžitá hodnota napětí v maximu. Pokud dojde k připojení transformátoru v maximu napětí a transformátor bude bez remanentní indukce, tak přechodový děj nenastane, jelikož indukční tok bude začínat s nulovou hodnotou.

7. Analýza poruchových událostí v síti PREdistribuce a.s.

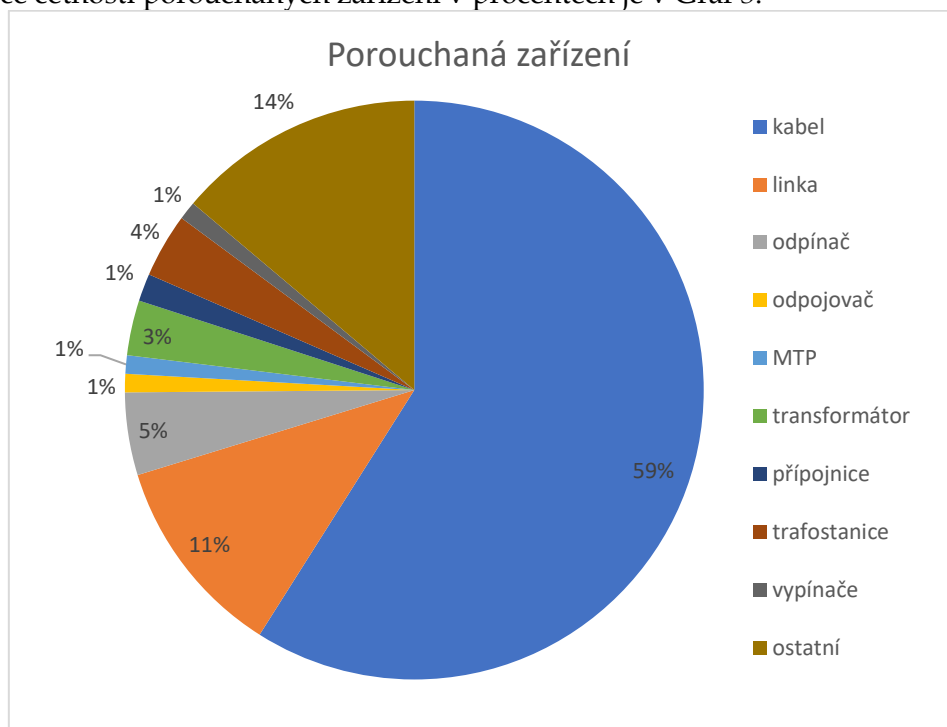
Poskytnutá data o poruchových událostech jsou od data 1. ledna 2015 až do 17.12.2016, takže jde o informace za období dvou let. Celkem je analyzováno 195 poruch.

Na základě poskytnutých dat o poruchách v síti PREdistribuce bude následovat grafická sumarizace s procentuálním vyjádřením poruch jednofázových, dvoufázových, třífázových a v čase rozvíjených.



Graf 2: Typy poruch

Z grafu je patrné, že nejvíce poruch jsou jednofázové zkraty následované zkraty rozvíjenými. Rozvíjený zkrat vznikne z jednofázové nebo dvoufázové poruchy zasažením další fáze. To je způsobeno tepelným namáháním izolačních materiálů v průběhu zkratu. Vizualizace četnosti porouchaných zařízení v procentech je v Graf 3.



Graf 3: Porouchaná zařízení

Jednofázové zkraty se ve více jak devadesáti procentech vyskytují na kabelových vedeních. Z celkového počtu 114 jednofázových zkratů je 103 těchto zkratů právě na kabelových vedeních. Naopak dvoufázové poruchy mají nejnižší četnost výskytu. To je dáno faktem, že se nejčastěji vyskytují na linkách. Respektive dvoufázových poruch je 16 z nichž jich bylo 9 uskutečněno na linkách, což je přibližně 56 % všech dvoufázových poruch. V případě

třífázových poruch, kterých je 30, není víceméně žádné výrazně dominantní zařízení, na kterých by se třífázový zkrat realizoval. Pokud však očistíme množství třífázových poruch o počet osmi třífázových zkratů s cizím zaviněním, což reprezentuje přibližně 27 % všech třífázových poruch, tak budou opět dominovat třífázové poruchy na linkách, které nastaly v šesti případech. Rozvíjené zkraty, kterých bylo 34, se nejčastěji vyskytují ve spínacích zařízeních jako jsou odpojovače, odpínače a vypínače celkem se stalo 10 takových případů, tedy 29 % všech rozvíjených zkratů. Zkratové poruchy nastaly přibližně v osmdesáti procentech případů, zatímco nadproudové poruchy se staly asi jen v dvaceti procentech zaznamenaných případů.

Z poskytnutých údajů jsem vyloučil 17 poruch, které byly neidentifikovatelné a u nichž byli časy vypnutí v rozporu s předpokládaným nastavením ochran.

Výkonové vypínače vyply poruchový proud v průměru po 68 ms po uplynutí předepsané časové prodlevy, která je charakterizována stupněm časové selektivity, umístěním poruchy a typem poruchy.

8. Revize pravidel pro nastavování stupně časové selektivity

Při návrhu stupně časové selektivity (Δt), tedy stanovení prodlevy mezi dvěma sousedními úseky:

$$\Delta t = t_n - t_{n-1} [s] \quad (8)$$

Musí být zajištěno, že porucha v předchozím úseku je odpojována dříve, než zapůsobí ochrana následujícího úseku. Tento stupeň časové selektivity by měl být co nejmenší. Při stanovení stupně časové selektivity je nutné uvažovat dobu vypnutí ($t_{v(n-1)}$) vypínače předcházejícího úseku. To znamená zohlednit dobu od vydání příkazu na vypnutí do rozpojení poruchových proudů kontakty vypínače. Dále vlastní čas ochrany (t_{vloch}) spolu s celkovou absolutní nejvyšší kladnou chybou ($t_{r(n-1)}$) časového členu ochrany předcházejícího úseku a celkovou absolutní nejvyšší zápornou chybou (t_{rn}) časového členu následující ochrany. Pro zohlednění předcházejících nepřesností je nutné zavést čas bezpečnostní časové rezervy (t_b), jehož hodnota činí přibližně 100 ms. Hodnota 100 ms bezpečnostní časovou rezervu je předepsána podnikovou normou energetiky PNE 38 4065. Stupeň časové selektivity je pak dán součtem výše uvedených činitelů [10]:

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{vloch} + t_{r(n-1)} + t_{rn} + t_b [s] \quad (9)$$

Doporučené stupně časové selektivit normou PNE 38 4065 jsou v rozmezí 200 ms až 500 ms, záleží na typu vypínačů a ochran. Aktuální stupeň časové selektivity v síti PREdistribuce a.s. je 300 ms.

Přidělenou oblastí k revizi velikosti stupně selektivity je TR Třeboradice, která sousedí s oblastmi Černý Most a Letňany. Schémata těchto oblastí najdete v přílohách. Schéma 1 zobrazuje situaci TR Třeboradice (vyznačené černě) v návaznosti na TR Letňany (vyznačené žlutě) a TR Černý Most (vyznačené modře). Schéma 2 je upravené schéma 1 tak, že jsou vyznačené propojení mezi jednotlivými oblastmi, dále jsou přidány hodnoty nastavených ochran způsobem popsaným v předešlých kapitolách. Ve schématech je také vždy zakreslen napravo od rozpínací stanice její číselné označení případně název a pod ním název a typ ochran.

8.1. Charakteristiky ochran v síti PREdistribuce

K tomu abych mohl revidovat stupeň časové selektivity v síti PREdistribuce a.s., nestačí jen poznatek o rychlosti vypínače. Důležité je zohlednit technické specifikace použitých ochran v distribuční síti. V analyzované oblasti se vyskytují především ochrany MiCOM P122 firmy Schneider Electric, pak ochrany 7SJ63 a 7SJ80 řady SIPROTEC® firmy Siemens, ochrana REF630 firmy ABB a starší elektromechanické ochrany. V distribuční síti PREdistribuce jsou ještě ochrany REX521 firmy ABB a ochrana SPAJ141C firmy ABB

8.1.1. Ochrana MiCOM P122

Digitální ochrany MiCOM vyráběné firmou Schneider Electric jsou komplexním řešením schopné pokrýt požadavky mnoha provozovatelů elektrizačních soustav.

Tyto ochrany jsou určeny k ochraně elektrizační soustavy před nadproudy a zkraty. Mimo jiné nabízejí i monitorovací a nahrávací funkce, takže mohou být integrovány do systému kontroly a monitorování distribuční soustavy.

Digitální ochrany MiCOM jsou zepředu vybaveny černobílým displejem z tekutých krystalů (LCD) s 2x16 poli alfanumerických znaků. Dále mají na přední straně sedmi tlačítkovou klávesnici, která poskytuje přístup ke všem nastavením, včetně mazání alarmů. 8 LED na přední straně indikují statusy ochrany. Pro snadnější nastavení ochran MiCOM je možné využít sériový port RS232 a počítače vybaveného počítačovým programem MiCOM S1[10]. Následující tabulka přehledně reprezentuje funkce ochran MiCOM.

Tabulka 2: funkce ochrany MiCOM

Požadovaná funkce	P120	P121	P122	P123
Nadproud na jedné fázi	X			
Nadproud na 3 fázích		X	X	X
Zemní zkrat		X	X	X
Derivace zkratového proudu			X	X
Teplotní přetížení			X	X
Podproud			X	X
Obrácený tok proudu			X	X
Detekce přerušeno vedení			X	X
Spouštěcí ráz			X	X
Okamžitý vypínací kontakt	X	X	X	X
Jištění výstupů ochrany	X	X	X	X
Detekce selhání vypínače			X	X
Monitorování vypínacího obvodu			X	X
Kontrola a monitorování vypínače			X	X
Blokovací logika	X	X	X	X
Multi-shot autoreclose				X
Lokální a vzdálená kontrola vypínače				X
Počet digitálních vstupů	2	2	3	5
Celkový počet výstupů	4	4	6	8
Nahrávání událostí	250	0	250	250
Nahrávání poruch	25	0	25	25
Záznamy o poruchách	5	0	5	5
Pomocné časovače	2	2	3	5

V distribuční síti PREdistribuce a.s. se hojně využívá ochrana MiCOM P122, proto se dále v textu budu zabývat právě touto ochranou.

Napájení ochrany MiCOM P122 může být zajištěno stejnosměrnými zdroji v rozmezí nominálních napětí 24–250 Vdc nebo zdroji střídavého napětí s nominálním napětím v intervalu 48–240 Vac. Předpokládaná zátěž ochrany na napájení je 3 W pro stejnosměrné zdroj nebo 8 VA pro střídavý zdroj, avšak maximální příkon ochrany je nižší než 6 W pro stejnosměrný zdroj a nižší než 14 VA pro střídavý zdroj.

Proudové vstupy pro přístrojové transformátory proudu (PTP) jsou 1 A a 5 A. Zátěž jednoho PTP je pak nižší než 0,025 VA pro PTP s převodem X/1 A nebo nižší než 0,3 VA pro PTP s převodem X/5 A.

8.1.1.1. Určení stupně časové selektivity pro ochrany MiCOM P122

Popudový čas ochrany zjištěný z technické specifikace pro ochrany MiCOM Schneider Electric je 30 až 50 ms. Operační čas ochrany je 7 ms, takže vlastní čas ochrany t_{vloch} může být až 57 ms. Celková absolutní nejvyšší chyba časového členu ochrany MiCOM je maximálně 2 % času periody frekvence sítě, tedy 0,4 ms. Hodnota 0,4 ms platí i pro celkovou zápornou chybu časového členu. Průměrná doba vypínání výkonového vypínače je 68 ms. Po dosažení do vzorce (8).

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{vloch} + t_{r(n-1)} + t_{rn} + t_b = 68 + 57 + 0,4 + 0,4 + 100 = 225,8 \text{ ms} \quad (10)$$

Pro jednoduchost zaokrouhlím výsledek stupně časové selektivity na desítky, takže jeho výsledná hodnota je $\Delta t = 230 \text{ ms}$.

8.1.2. Multifunkční ochrana 7SJ632

Ochrana 7SJ632 je použitelná v rozvodnách s jednoduchými nebo dvojitými přípojnými pro chránění vývodů z přípojníc. Základní funkcí této ochrany je nesměrová zkratová a nadproudová ochrana.

Na čelním panelu ochrany LED optické ukazatele a zobrazovací displej, tyto ukazatele poskytují informace o stavu ochrany, stavu e měřených hodnotách. Pro zadávání povelů a parametrů z místa slouží zabudovaná řídicí a numerická klávesnice, přičemž mohou být informace z ochrany vyvolány a parametry ochrany změněny.

Za použití sériového rozhraní na čelní straně ochrany může být zajištěna pohodlnější komunikace s počítačem vybaveného programem SIPROTEC® 4 - DIGSI®. Za použití sériového rozhraní mohou být všechny údaje přenášeny k centrálnímu servisnímu nebo řídicímu místu.

Digitální ochrana 7SJ632 řady SIPROTEC® vyráběná firmou Siemens obsahuje sedm analogových vstupů. Čtyři proudové převodníky a tři napěťové převodníky. Tři proudové převodníky mohou být využity pro připojení tří PTP měřících proud protékající fázemi a čtvrtý PTP slouží k měření proudů proti zemi. Jmenovité proudové vstupy jsou 1 A nebo 5A. Spotřeba ochrany z jednoho PTP s převodem X/1 A je přibližně 0,05 VA a u PTP s převodem X/5 A to činí 0,3 VA.

Stejnoseměrné jmenovité napájecí napětí může být v rozsahu 24 V až 250 V, přičemž dovolený rozsah napájecího napětí je od 19 V do 300 V. Spotřeba ochrany 7SJ632 v klidu dosahuje

hodnot 5,5 W a při náběhu 16 W. Střídavé jmenovité napájecí napětí je 115 V a dovolený rozsah napětí od 92 V až do 132 V. Příkon v klidu je 6 VA a příkon při náběhu dosahuje 20 VA.

8.1.2.1. Určení stupně časové selektivity pro ochrany 7SJ632

V technické specifikaci nebyly specifikovány hodnoty pro nejvyšší kladné a záporné absolutní chyby časového členu ochrany. Tento fakt lze přisoudit tomu, že ochrana 7SJ632 bude mít zřejmě dostatečně přesné vnitřní hodiny i čítač. Je známý čas působení ochrany $t_{vloch} = 10$ ms. Výpočet stupně časové selektivity pro ochranu 7SJ632 bude dán součtem času vypínače ($t_{v(n-1)} = 68$ ms), maximálním časem působení ochrany ($t_{vloch} = 10$ ms) a bezpečnostní časovou rezervou ($t_b = 100$ ms)[11].

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{vloch} + t_b = 68 + 10 + 100 = 178 \text{ ms} \quad (11)$$

Po zaokrouhlení výsledku na desítky dostáváme stupeň časové selektivity ochrany 7SJ632 $\Delta t = 180$ ms.

8.1.3. Nadproudová ochrana 7SJ80

Digitální ochrana 7SJ80 je vyšší řadou dříve popsané ochrany 7SJ632. Jako komunikační cesty s ochranou 7SJ80 můžeme využít USB port USB-DIGSI a počítače vybaveného programem DIGSI nebo ethernetové rozhraní (RJ45), případně sériový port RS 232 opět při použití programu DIGSI.

Možnost připojení přístrojových transformátorů proudu je totožná s ochranou 7SJ632. Shodný je i výkon ochrany odebíraný z PTP. Změna oproti ochraně 7SJ632 nastává u napájení ochrany 7SJ80 střídavým napětím, jelikož je přidána možnost napájet ochranu i napětím 230 Vac. Při napájení stejnosměrným napětím je příkon ochrany v klidovém stavu 5 W a při náběhu 12 W. Při napájení střídavým napětím je příkon ochrany 5 VA v klidovém stavu respektive 12 VA při náběhu[12].

Údaje pro výpočet stupně časové selektivity jsou identické s ochranou 7SJ632 a můžu tak uvažovat pro ochranu 7SJ80 stupeň časové selektivity $\Delta t = 180$ ms.

8.1.4. Ochrana REF630

REF630 je moderní ochrana vyráběná firmou ABB a slouží ke komplexní ochraně vývodů distribučních rozvodů. Je určena do distribučních sítí s izolovaným nulovým bodem nebo odporově i impedančně uzemněným uzlem sítě. Ochrana je schopna monitorovat kvalitu energie a získávané informace posílat do centrálního monitorovacího systému. Ke komunikaci s počítači slouží ethernetové rozhraní RJ45, optická komunikační linka a sériové rozhraní[1].

Stejnoseměrné napájecí napětí ochrany se pohybuje v intervalu od 88 Vdc do 300 Vdc a střídavé napájecí napětí v intervalu 85 Vac až 264 Vac. Příkon ochrany je maximálně 35 W.

Ochrana garantuje vstupní impedanci nižší než 100 m Ω při připojení PTP s převodem X/0,1 A nebo X/1 A a impedanci nižší než 20 m Ω při připojení PTP s převodem X/1 A nebo X/5 A.

8.1.4.1. Určení stupně časové selektivity pro ochranu REF630

Vlastní čas působení ochrany t_{vloch} je 20 ms. Chyby časového členu ochrany nejsou v technické dokumentaci specifikovány. Takže další výpočet bude podobný jako u ochrany 7SJ632.

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{vloch} + t_b = 68 + 20 + 100 = 188 \text{ ms} \quad (12)$$

Když výsledek zaokrouhlím na desítky, tak stupeň časové selektivity ochrany REF 630 je 190 ms.

8.1.5. Ochrana REX521

Ochrany REX521 vyráběné firmou ABB mají následující základní funkce[3].

- fázová nadproudová ochrana
- zemní ochrana
- ochrana při fázové nesymetrii
- ochrana při tepelném přetížení

Vlastní čas ochrany t_{vloch} je 40 ms. Chyba časového členu je 10 ms, takže celková kladná chyba časového členu může být až 10 ms a stejně tomu bude i při záporné celkové chybě.

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{vloch} + t_b = 68 + 40 + 10 + 10 + 100 = 228 \text{ ms} \quad (13)$$

Po zaokrouhlení na desítky je stupeň časové selektivity roven 230 ms.

8.1.6. Ochrana SPAJ141C

Ochrana SPAJ141C firmy ABB chrání před nadproudy i zkraty[2].

Vlastní čas ochrany je 40 ms. Absolutní kladná i záporná chyba časového členu ochrany je 25 ms.

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{vloch} + t_b = 68 + 40 + 25 + 25 + 100 = 258 \text{ ms} \quad (14)$$

Výsledná hodnota stupně časové selektivity vyšla relativně velká, po zaokrouhlení na desítky to je 260 ms. Tato ochrana je totiž nejstarší popisovanou digitální ochranou v této práci. Můžeme si tedy všimnout velkých přípustných chyb časového členu ochrany.

8.2. Stanovení stupně časové selektivity v síti PREdistribuce a.s.

V distribuční síti PREdistribuce se nachází digitální ochrany REF630, MiCOM P122, 7SJ80, 7SJ632, REX521 a SPAJ141C. Tabulka 2 přehledně zobrazuje zjištěné časové konstanty ochrany.

Tabulka 3: časové konstanty ochrany v síti PREdistribuce a.s.

Název ochrany	Vlastní čas ochrany t_{vloch} [ms]	Abs. kladná chyba časového členu [ms]	Abs. záporná chyba časového členu [ms]
REF630	20	0	0
MiCOM P122	57	0,4	0,4
7SJ80	10	0	0
7SJ632	10	0	0
REX521	40	10	10
SPAJ141C	40	25	25

Pokud bychom chtěli stanovit nový časový stupeň pro celou distribuční síť PREdistribuce a.s., tak bychom museli najít takový pár ochrany, který by měl stupeň časové selektivity největší. Z předchozích kapitol víme, že to je pár SPAJ141C, který má stupeň časové selektivity 260 ms. Žádná jiná kombinace ochrany nebude mít stupeň časové selektivity delší. Druhý nejdelší stupeň časové selektivity má kombinace ochrany MiCOM P122 a SPAJ141C 250,4 ms. V tabulce 3 jsou vypočítány stupně časové selektivity pro všechny možné kombinace ochrany.

Tabulka 4: stupně časové selektivity pro různé kombinace ochran

Nadřazená ochrana	podřazená ochrana	stupeň časové selektivity [ms]
REF630	REF630	190
REF630	MiCOM P122	190
REF630	7SJ80 a 7SJ632	190
REF630	REX521	200
REF630	SPAJ141C	220
MiCOM P122	MiCOM P122	230
MiCOM P122	REF630	230
MiCOM P122	7SJ80 a 7SJ632	230
MiCOM P122	REX521	240
MiCOM P122	SPAJ141C	260
7SJ80 a 7SJ632	7SJ80 a 7SJ632	180
7SJ80 a 7SJ632	REF630	180
7SJ80 a 7SJ632	MiCOM P122	180
7SJ80 a 7SJ632	REX521	190
7SJ80 a 7SJ632	SPAJ141C	210
REX521	REX521	230
REX521	REF630	220
REX521	MiCOM P122	220
REX521	7SJ80 a 7SJ632	220
REX521	SPAJ141C	250
SPAJ141C	SPAJ141C	260
SPAJ141C	REF630	240
SPAJ141C	MiCOM P122	240
SPAJ141C	7SJ80 a 7SJ632	240
SPAJ141C	REX521	250

Ochrany 7SJ80 a 7SJ632 jsem sloučil kvůli jejich shodným specifikacím časových konstant. Výsledky stanovených stupňů časových selektivit jsem vždy zaokrouhli na desítky směrem nahoru.

Jako novou hodnotu stupně časové selektivity bych mohl zvolit 260 ms. Tato hodnota, na základě výše uvedené tabulky a výpočtů, zaručuje správné selektivní chování ochran v rámci celé distribuce. Zároveň není v rozporu s doporučením podnikové normy energetiky PNE 38 4065, která tvrdí, že vhodný stupeň časové selektivity je mezi 200 ms a 500 ms.

Nově stanovené parametry ochran by vypadali následovně:

Tabulka 5: nové nastavení ochran

	1. úroveň	2. úroveň	3. úroveň	4. úroveň
Nadproudová ochrana	360 A / 1,18 s	360 A / 0,92 s	360 A / 0,66 s	240 A / 0,4 s
Zkratová ochrana	900 A / 0,98 s	900 A / 0,72 s	900 A / 0,46 s	900 A / 0,2 s
Ochrana uzlu	240 A / 1,18 s	120 A / 0,92 s	120 A / 0,66 s	120 A / 0,4 s

Po analýze poruchových událostí za roky 2015 a 2016, by pravděpodobně došlo k vypnutí těchto poruchy se shodnou selektivitou i pro nový stupeň časové selektivity.

Na schématu 3 demonstrují nové nastavení ochran pro oblast TR Třeboradice.

8.3. Určení časově závislé křivky ochran

Vzorec potřebný pro určení vypínacího času ochrany v závislosti na měřeném proudu je

$$t = \left\{ L + \frac{k}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^\alpha - 1} \right\} \cdot T_P \quad (15)$$

kde t teoretický čas působení

k konstanta charakterizující ochranu

T_P časový násobitel

I měřený proud

I_S nastavený rozběhový proud (nadproud např.: 360 A nebo 240 A)

α je index charakterizující algebraickou funkcí

L ANSI/IEEE konstanta, v normách IEC a RECT je L faktor považován za nulový, proto ho dále nebudu při výpočtech uvažovat.

Tabulka konstant pro nastavení časově závislé charakteristiky ochrany poskytnutá firmou Schneider Electric[10]:

Tabulka 6: konstanty MiCOM

Typ křivky	Standard	k faktor	α index	L faktor
Zkrácený čas inverze	Schneider E.	0,05	0,04	0
Normální inverze	IEC	0,14	0,02	0
Velmi inverzní	IEC	13,5	1	0
Extrémně inverzní	IEC	80	2	0
Dlouhý čas inverze	Schneider E.	120	1	0
Zkrácený čas inverze	C02	0,02394	0,02	0,01694
Mírná inverze	ANSI/IEEE	0,0515	0,02	0,114
Typ křivky	Standard	k faktor	α index	L faktor
Dlouhý čas inverze	C08	5,95	2	0,18
Velmi inverzní	ANSI/IEEE	19,61	2	0,491
Extrémně inverzní	ANSI/IEEE	28,2	2	0,1217

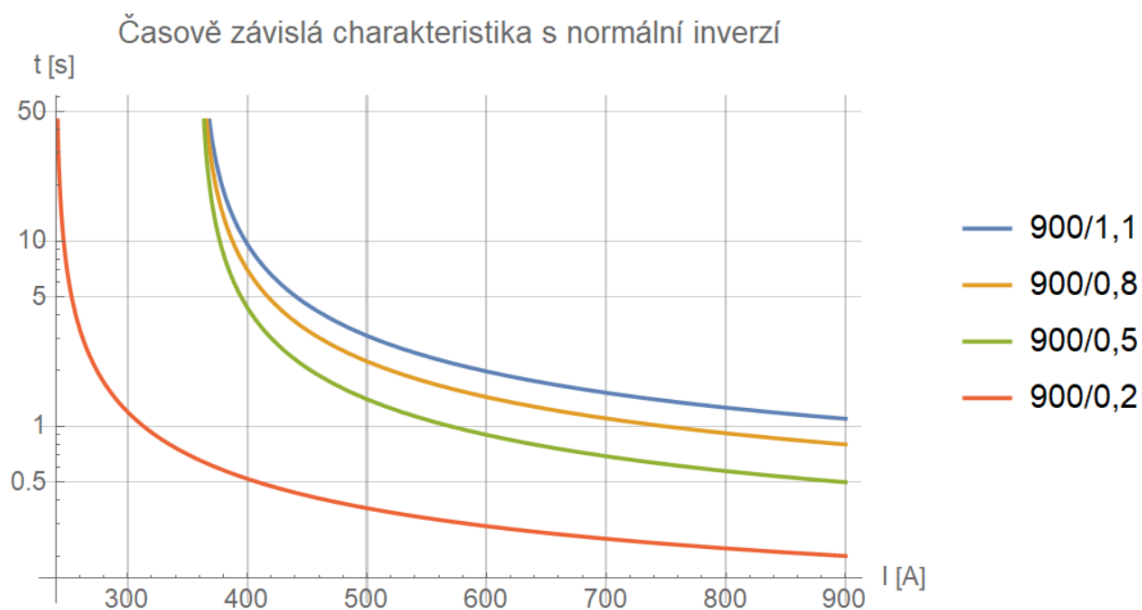
Pro výpočet časově závislé charakteristiky budu uvažovat normalizovanou normální inverzi, která je také známá z normy IEC 60 255-3 jako charakteristika typu A[7]. Pro tuto charakteristiku odpovídá konstanta $\alpha = 0,02$ a konstanta $k = 0,14$. Časový násobitel musíme dopočítat ze známého vypínacího času zkratových proudů (1,1 s; 0,8 s; 0,5 s; 0,2 s) úpravou rovnice (15).

$$t = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^\alpha - 1} \cdot T_P \gg T_P = \frac{\left(\frac{I}{I_S}\right)^\alpha - 1}{k} \cdot t = \frac{\left(\frac{900}{360}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \cdot 1,1 \quad (16)$$

$$= 0,145$$

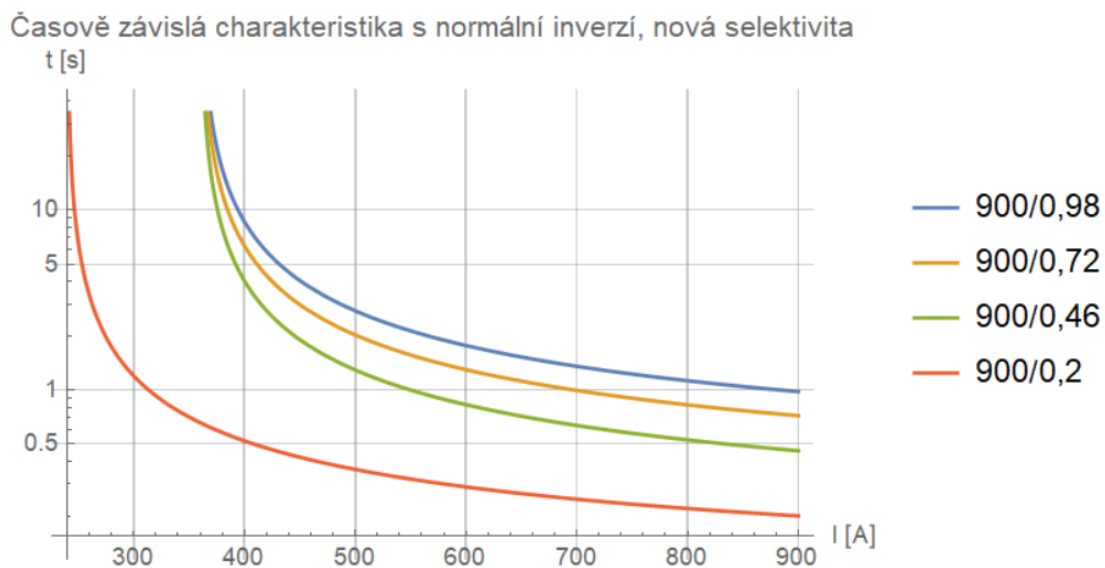
Takže časový násobitel pro vypínací čas zkratu 1,1 s je 0,145, tedy $T_{P1,1} = 0,145$. Další časové násobitelé jsou $T_{P0,8} = 0,106$ a $T_{P0,5} = 0,066$. Pro poslední stupeň rozpínacích stanic v síti PŘEdistribuce se mění hodnota nadproudu z 360 A na 240 A, takže poslední časový násobitel je $T_{P0,2} = 0,038$.

Pro výpočty jsem využil výpočetní program Wolfram Mathematica 10.4. Po dopočítání všech časových násobitelů jsem provedl dosazení konstant do rovnice (15) a vytvořil Graf 4 s průběhy časově závislé charakteristiky ochrany.



Graf 4: Časově závislé charakteristiky s normální inverzí, charakteristika typu A

Nový stupeň časové selektivity, vypočtený v předchozí kapitole, může být v případě časově závislé charakteristiky ochrany použit. Časové údaje z technický specifikací použitých pro stanovení nového stupně selektivity u časově nezávislé charakteristiky se shodují i pro případ nastavení časově závislých charakteristik u všech ochran. Časově závislé křivky s novým stupněm selektivity jsou v grafu 5.



Graf 5: Časově závislá charakteristika s normální inverzí a nový stupeň časové selektivity

9. Závěr

V prvních kapitolách této bakalářské práce jsou popsány typy poruch, které se běžně v distribučních sítích vyskytují. Byly objasněny příčiny nejčastěji se vyskytujících poruch v návaznosti na způsobu provozování vysokonapěťové distribuční sítě. Dále jsem se věnoval problematikou ochran a popisu jejich jednotlivých částí. Pozornost jsem věnoval i přístrojovým transformátorům proudu, jelikož se tato bakalářská práce zabývá nadproudovými a zkratovými ochranami v distribuční síti PREdistribuce a.s.

V dalších kapitolách byl popsán současný stav distribuční sítě PREdistribuce z pohledu jejího členění a chránění. Klíčový je popis zajištění časové selektivity ochran v rámci vysokonapěťové distribuční sítě. Ochrany v distribuční síti PREdistribuce mají nastavenou časově nezávislou charakteristiku pro úroveň nadproudu i zkratu. Selektivity je dosaženo pomocí takzvaného stupně časové selektivity, což je rozdíl časového nastavení ochran v nadřazené a podřazené rozpínací stanici. Tento stupeň časové selektivity zkráceně také jen stupeň selektivity je aktuálně 300 ms.

Byla provedena analýza poruchových událostí v distribuční síti PREdistribuce a.s. za období dvou let, a to konkrétně od ledna 2015 do prosince roku 2016. V bakalářské práci je analyzováno celkem 195 poruch. V přibližně 80 procentech poruchových událostí šlo o zkratové poruchy, nežli o nadproudové stavy. Zároveň dominovali jednofázové zkraty na kabelových vedeních. Mezi velmi důležité údaje patří poznatek, že průměrný čas vypnutí výkonového vypínače je přibližně 68 ms. Těchto časů dosahují vakuové vypínače, které jsou v distribuční síti PREdistribuce a.s. hojně zastoupeny.

Hlavním úkolem této práce je prověřit možnost snížit stupeň časové selektivity místo současných 300 ms. Právě proto je klíčový údaj o reálné délce času vypnutí zkratové poruchy výkonovým vypínačem. Kromě tohoto časového údaje jsou i velmi důležité technické údaje používaných ochran v distribuční síti PREdistribuce a.s. V distribuční síti používá společnost PREdistribuce digitální ochrany REF630, MiCOM, 7SJ80, 7SJ632, REX521, SPAJ141C a v omezené míře i elektromechanická relé. Z technických specifikací digitálních ochran jsem získal potřebné časové údaje. Šlo především o dobu vlastního času ochrany nebo o dobu popudu s operačním časem ochrany a maximální kladné i záporné chyby časového členu ochrany v absolutních hodnotách.

Pro výpočet nového stupně časové selektivity jsem postupoval podle podnikové normy energetiky PNE 38 4065, která pojednává o provozu, navrhování a zkoušení ochran a automatik. Nově vypočtená hodnota stupně časové selektivity je 260 ms. Údaj vychází z předpokladu nejhorsích možnou kombinací použitých ochran, respektive ochran s dlouhými časy. Takovou ochranou je SPAJ141C, pokud bude ochrana SPAJ141C chránit vývod v nadřazené rozpínací stanici a zároveň bude chránit i přívod v podřazené rozpínací stanici, tak dosáhneme optimálního stupně časové selektivity právě na hodnotě 260 ms. Zpětnou analýzou poruchových událostí za roky 2015 a 2016 jsem nenarazil na žádnou poruchu, u které by mohlo dojít k neselektivnímu chování ochran, při použití nového stupně časové selektivity. V příloze ve schématu 3 je zobrazena oblast TR Třeboradice v návaznosti na Letňany a Černý Most s použitým nastavením nového stupně časové selektivity. Snížení stupně časové selektivity pomáhá zařízením v distribuční síti nižším vystavováním účinků nadproudů, zejména tepelným přetížením.

Dále jsou vypočteny a v grafech zobrazeny křivky časově závislých charakteristik digitálních ochran. Při výpočtech počítám s křivkou s normální inverzí z normy IEC 60 255-3 známou

také jako křivka typu A. Důvodem nahrazení časově nezávislých charakteristik za charakteristiky časově závislých je eliminace milného vypnutí při zapínání dlouhých linií a velkých transformátorů pracujících naprázdno, protože dochází k vývinu proudových rázů. Vypočtené křivky by měli zabránit nesprávnému působení ochrany.

10. Seznam použitých zdrojů

- [1] ABB. IED pro chránění a ovládání vývodu REF630. ©2012
- [2] ABB. Kombinovaná nadproudová ochrana a zemní ochrana SPAJ141C.
- [3] ABB. Ochrana REX521, Technický referenční manuál. ©2001. [vid. 27.6.2017]
- [4] BENETKA, Tomáš. *Ochrana sítí NN, VN, VVN proti přepětí*. Plzeň 2013. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta Elektrotechnická. Vedoucí práce Karel Noháč.
- [5] DRIESEN, Johan. *Rušení napětí: Úvod do nesymetrie*. Dostupné z: http://www.gqee.unifei.edu.br/arquivos_upload/disciplinas/20/Leonardo%20Energia%20-%20Unbalanced%20Voltage.pdf licence: Creative Commons - volné dílo
- [6] GRYM, Rudolf. *Chránění II: elektrická zařízení vysokého napětí, chránění zařízení v průmyslu*. Havířov: Iris [Havířov], c2004. ISBN 80-903540-0-9.
- [7] IEC 60 255-3 Měřicí a ochranná relé – část 151: Funkční požadavky pro nadproudovou/podproudovou ochranu
- [8] NOVÁK, Miroslav. *Přechodový děj při zapnutí transformátoru*. Liberec 2003. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií.
- [9] PNE 38 4065 Provoz, navrhování a zkoušení ochran a automatik
- [10] Schneider Electric. *MiCOM P120, P121, P122 & P123, Technical Guide*. ©2013
- [11] Siemens. Multifunkční ochrana s ovládáním z místa 7SJ63, Příručka. ©2001. [vid.01.2001]
- [12] Siemens. Nadproudová ochrana 7SJ80, Příručka. ©2009. [vid.01.2009]

11. Seznam obrázků

Obrázek 1.: ampérsekundová charakteristika pojistky	11
Obrázek 2: závislost $n_z=f(z_k)$, kde z_k je v poměrných jednotkách	15
Obrázek 3.: ukázka nastavení ochran v rozpínací stanici.	18
Obrázek 4.: ampérsekundová charakteristika časově nezávislé ochrany	19

12. Seznam grafů

Graf 1: závislost $I_{2k} = f(I_{1k})$	14
Graf 2: Typy poruch.....	21
Graf 3: Porouchaná zařízení	21
Graf 4: Časově závislé charakteristiky s normální inverzí, charakteristika typu A	29
Graf 5: Časově závislá charakteristika s normální inverzí a nový stupeň časové selektivity .	29

13. Seznam tabulek

Tabulka 1: aktuální nastavení ochran	19
Tabulka 2: funkce ochrany MiCOM	23
Tabulka 3: časové konstanty ochrany v síti PREDistribuce a.s.	26
Tabulka 4: stupně časové selektivity pro různé kombinace ochran	27
Tabulka 5: nové nastavení ochran	27
Tabulka 6: konstanty MiCOM.....	28
Tabulka 7.: Tabulka pojistek DRIBO spol, s.r.o.	34

14. Přílohy

Tabulka 7.: Tabulka pojistek DRIBO spol, s.r.o.



Bemessungsspannung 36 kV

Transformatormax. Bemessungsleistung [kVA]	DRIESCHER-S. HF-Sicherung		Bemessungsstrom der HF-Sicherung	
	H29	H 22 3007	min. [A]	max. [A]
50	Ja		6,3	6,3
80	Ja		6,3	6,3
100	Ja		6,3	10
125	Ja		6,3	16
160	Ja		6,3	20
200	Ja		10	20
250	Ja		10	25
315	Ja		16	25
400	Ja		20	25
500	Ja		25	31,5
630	Ja		31,5	31,5
800	Ja		31,5	40
1000	Ja		40	40
1250	Ja		40	50
1600	Ja		50	63
2000	Ja		63	
2500	verzögert	Nein		80
3150	verzögert	Nein		100
4000	Nein			125
5000	Nein			Leistungsschalter

Bemessungsspannung 24 kV

Transformatormax. Bemessungsleistung [kVA]	DRIESCHER-S. HF-Sicherung		Bemessungsstrom der HF-Sicherung	
	H 27 H29	H 22 3007	min. [A]	Max. [A]
50	Ja		6,3	6,3
80	Ja		6,3	6,3
100	Ja		6,3	10
125	Ja		10	16
160	Ja		10	20
200	Ja		16	20
250	Ja		16	25
315	Ja		20	25
400	Ja		25	31,5
500	Ja		25	40
630	Ja		31,5	50
800	Ja		40	50
1000	Ja		50	63
1250	Ja		63	
1600	ja	Nein	80	
2000	verzögert	Nein	100 SSK	
2500	verzögert	Nein	125 SSK	
3150	Nein		Leistungsschalter	

Bemessungsspannung 12 kV

Transformatormax. Bemessungsleistung [kVA]	DRIESCHER-S. HF-Sicherung		Bemessungsstrom der HF-Sicherung	
	H 27	H 22 3007	min. [A]	Max. [A]
50	Ja		6,3	6,3
80	Ja		10	10
100	Ja		10	16
125	Ja		16	20
160	Ja		20	25
200	Ja		25	31,5
250	Ja		31,5	40
315	Ja		40	50
400	Ja		50	63
500	Ja		63	
630	Ja		63	
800	Verzögert	Nein	80	
1000	Verzögert	Nein	100	
1250	Nein		125	
1600	Nein		Leistungsschalter	

Elektrotechnische Werke
Fritz Driescher & Söhne
GmbH

85366 MOOSBURG *F. Driescher*

4.2.03

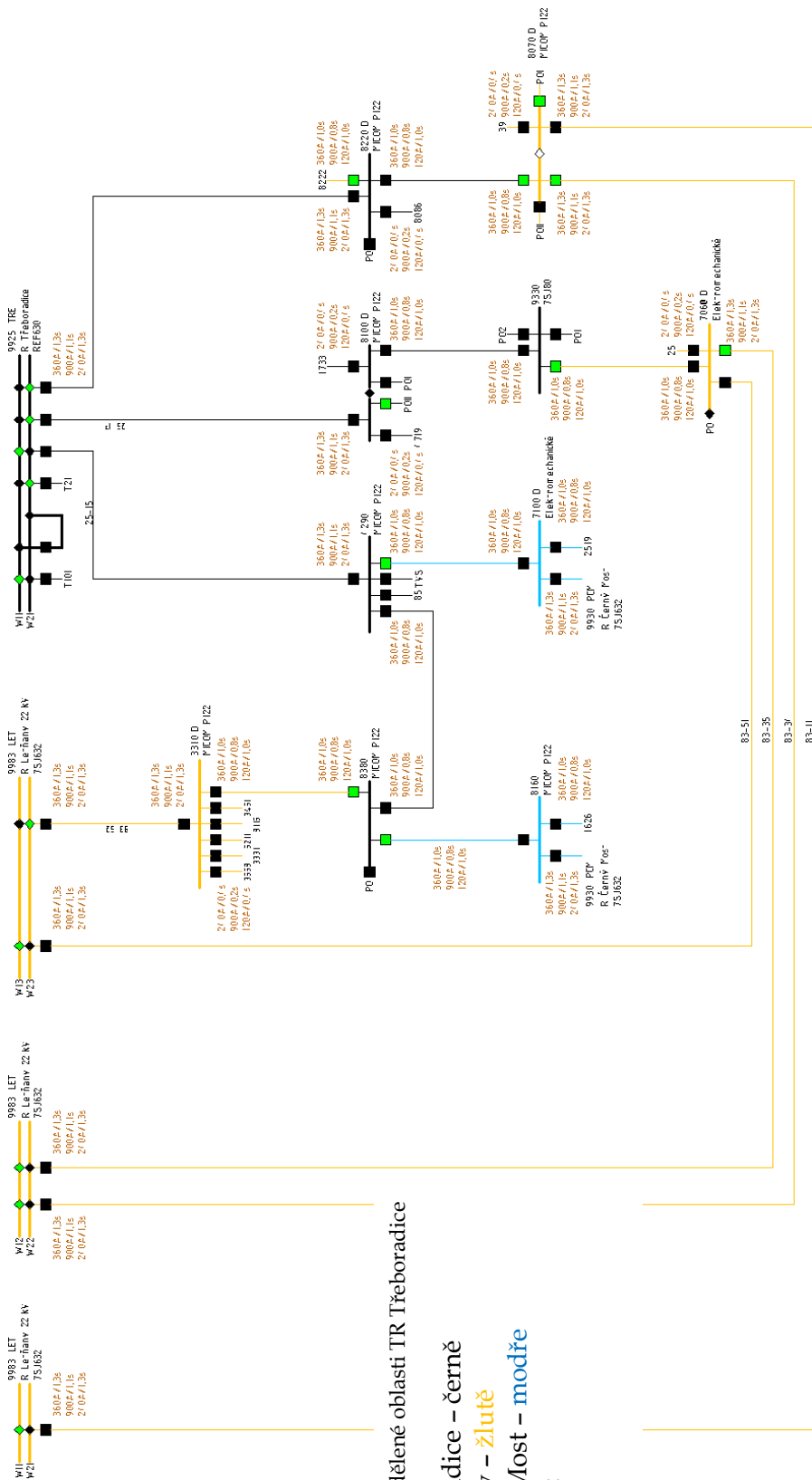


Schéma 2: schéma přidělené oblasti TR Třeboradice

- Oblast TR Třeboradice – černě
- Oblast TR Letňany – žlutě
- Oblast TR Černý Most – modře
- Značení vypínačů:
- Zelená = vypnuto
- Černá = zapnuto

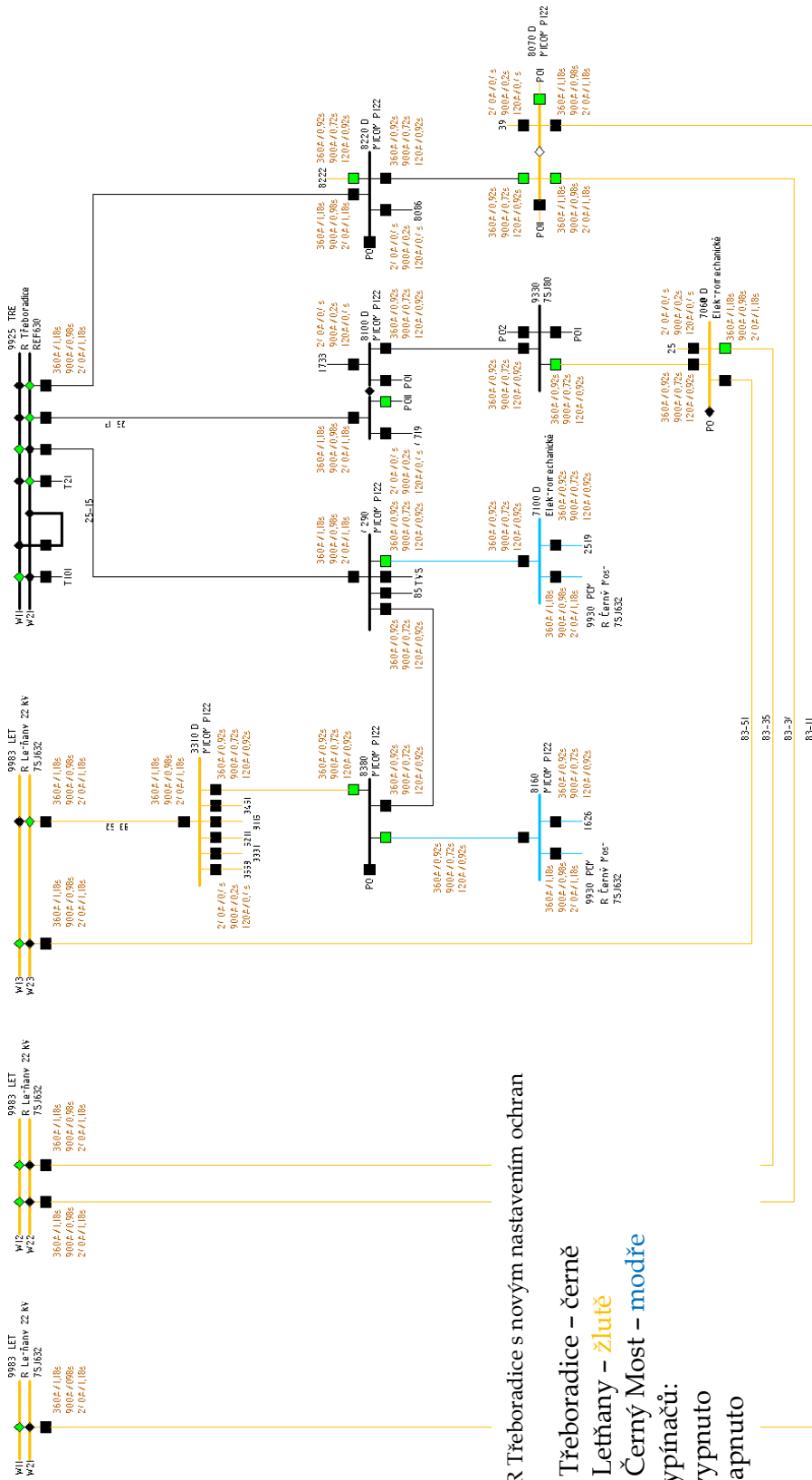


Schéma 3: TR Třeboradice s novým nastavením ochran

Oblast TR Třeboradice – černě

Oblast TR Letňany – žlutě

Oblast TR Černý Most – modře

Značení vypínačů:

Zelená = vypnuto

Černá = zapnuto