

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh chránění pro rozvodnu 110 kV / 35, 22, 10 kV v
městské části Děčína – Želenice.**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Alois ŠANOVEC**
Osobní číslo: **E19N0073P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Téma práce: **Návrh chránění pro rozvodnu 110 kV / 35, 22, 10 kV v městské části Děčína – Želenice**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky**

Zásady pro vypracování

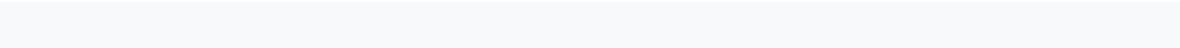
1. Popište problematiku systému chránění v elektrických stanicích distribuční soustavy.
2. Zpracujte návrh osazení ochranami pro rozvodnu 110 kV /35, 22, 10 kV v městské části Děčína – Želenice.
3. Proveďte výpočet poměrů při zkratu v základních bodech.
4. Na základě výpočtu poměrů při zkratu a navržených ochranných funkcí, proveďte výpočet nastavení ochran.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá shrnutím a použitím elektrických ochran na elektrické stanici Děčín – Želenice. Dále novým návrhem a následným výpočtem elektrických ochran pro rozvodnu 110 kV/ 35, 22, 10 kV v městské části Děčín – Želenice, za účelem zlepšení selektivity ochrany.

Klíčová slova

Elektrická ochrana, selektivita ochrany, zkratové proudy, zhasací tlumivka, uzlový odpor, transformátor, řídicí systém.



Abstract

This diploma thesis deals with the summary and use of electrical protections at the electrical station Děčín - Želenice. Furthermore, a new design and calculation of electrical protections for the 110 kV / 35, 22, 10 kV substation in the Děčín - Želenice district, in order to improve the selectivity of protection.

Key words

Electrical protection, selectivity of power system protections, short-circuit currents, arc suppression coils, earthing resistor, transformer, controlling systém.

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

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janě Jiříčkové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Další velký dík patří kolegům z ČEZ distribuce za poskytnutí všech potřebných dat. Také musím poděkovat své rodině za obrovskou podporu po celou dobu mého studia.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	9
ÚVOD	10
1. TEORIE CHRÁNĚNÍ V ELEKTRICKÝCH STANICÍCH DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY	11
1.1 TŘÍDĚNÍ OCHRAN	11
1.2 POŽADAVKY NA OCHRANY	12
1.2.1 <i>Data pro výpočet nastavení ochran</i>	14
2. TEORETICKÝ ROZBOR POUŽITÝCH OCHRAN	15
2.1 POPIS SOUČASNÉHO STAVU CHRÁNĚNÍ ROZVODNY DĚČÍN-ŽELENICE.....	15
2.1.1 <i>Opětovné zapnutí</i>	17
2.2 OCHRANY PRO ČÁST ROZVODNY 110 kV.....	18
2.2.1 <i>Distanční ochrana</i>	18
2.3 OCHRANY PRO ČÁST ROZVODNY VN.....	21
2.3.1 <i>Směrová nadproudová a zkratová ochrana</i>	21
2.3.2 <i>Zemní směrová ochrana</i>	22
2.3.3 <i>Rozdílová ochrana</i>	23
2.3.4 <i>Chránění transformátoru</i>	25
2.3.5 <i>Plynová ochrana</i>	25
2.3.6 <i>Chránění přípojnic</i>	25
3. PORUCHOVÉ STAVY	28
3.1 ZEMNÍ SPOJENÍ.....	28
3.1.1 <i>Detekce zemního spojení</i>	29
3.2 ZKRAT.....	30
3.2.1 <i>Dělení zkratových poruch</i>	31
3.2.2 <i>Průběh zkratového proudu</i>	32
3.2.3 <i>Teoretický výpočet zkratových poměrů</i>	34
4. VÝPOČET POMĚRŮ PŘI ZKRATU V ZÁKLADNÍCH BODECH	40
4.1 ZKRATOVÝ VÝKON SÍTĚ 110 kV.	40
4.2 ZKRATOVÝ VÝKON SÍTĚ 35 kV T ₁₀₁	40
4.3 ZKRATOVÝ VÝKON SÍTĚ 35 kV T ₁₀₂	42
4.4 ZKRATOVÝ VÝKON SÍTĚ 22 kV T ₁₀₃	43
4.5 ZKRATOVÝ VÝKON SÍTĚ 10 kV T ₁₀₄	44
5. NÁVRH OSAZENÍ A VÝPOČET NASTAVENÍ OCHRAN ROZVODNY DĚČÍN-ŽELENICE 110 KV/35, 22, 10 KV	45
5.1 VÝPOČET NASTAVENÍ DISTANČNÍCH OCHRAN.....	45
5.1.1 <i>Tr. Želenice – tr. Těchlovice</i>	46
5.1.2 <i>Tr. Želenice – tr. Podhájí</i>	48
5.1.3 <i>Tr. Želenice – tr. Děčín Východ</i>	49
5.1.4 <i>Tr. Želenice – tr. Chotějovice</i>	50
5.2 VÝPOČET NASTAVENÍ OCHRAN 35, 22, 10 kV.....	52
ZÁVĚR	53
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	55
PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratk

<i>L1, L2, L3</i>	Fázové vodiče napájecí soustavy
<i>MTP</i>	Měřicí transformátor proudu
<i>MTN</i>	Měřicí transformátor napětí
<i>I_f, 2_f</i>	Počet fází
<i>Tr. Želenice</i>	Transformovna Děčín-Želenice
<i>LOR</i>	Logická ochrana rozvodny
<i>OZ</i>	Automatika opětovného zapnutí
<i>ZS</i>	Zemní spojení
<i>I ></i>	Nadproudová ochrana
<i>I >></i>	Zkratová ochrana
<i>Idiff</i>	Rozdílová ochrana
<i>Is ></i>	Nadproudová směrová ochrana
<i>I>lor</i>	Nadproudová ochrana LOR
<i>IE</i>	Signalizační zemní ochrana
<i>ks.t</i>	Kostrová ochrana transformátoru
<i>ks.o</i>	Kostrová ochrana odporníku
<i>U <</i>	Podpěťová ochrana
<i>TVS</i>	Transformátor vlastní spotřeby
<i>SSB</i>	Spojka sběren
<i>ŘS</i>	Řídící systém
<i>K</i>	Kabelové vedení
<i>V</i>	Venkovní vedení

Seznam obrázků

OBR. 2.1 UZEMNĚNÍ UZLŮ VN TRANSFORMÁTORŮ V TR ŽELENICE	17
OBR. 2.2 SELEKTIVITA OZ.....	17
OBR. 2.3 NASTAVENÍ IMPEDANČNĚ ČASOVÉ CHARAKTERISTIKY [2].....	19
OBR. 2.4 IDEÁLNÍ IMPEDANČNÍ CHARAKTERISTIKA DISTANČNÍ OCHRANY [2]	20
OBR. 2.5 CHARAKTERISTIKA ČASOVĚ NEZÁVISLÉ PROUDOVÉ OCHRANY [2]	21
OBR. 2.6 PRINCIP ROZDÍLOVÉ OCHRANY [4]	23
OBR. 2.7 PRINCIP LOR [5].....	27
OBR. 3.1 KOMPENZOVANÁ SÍŤ SE DVĚMA VÝVODY [2].....	29
OBR. 3.2 FÁZOROVÝ DIAGRAM PŘI ZEMNÍM SPOJENÍ	30
OBR. 3.3 JEDNOFÁZOVÝ ZKRAT	31
OBR. 3.4 DVOUFÁZOVÝ ZKRAT	31
OBR. 3.5 DVOUFÁZOVÝ ZEMNÍ ZKRAT	31
OBR. 3.6 TŘÍFÁZOVÝ ZKRAT	31
OBR. 3.7 TŘÍPÓLOVÝ ZKRAT	32
OBR. 3.8 PRŮBĚH NESOUMĚRNÉHO ZKRATOVÉHO PROUDU.....	33
OBR. 3.9 EFEKTIVNÍ HODNOTA SOUMĚRNÉHO ZKRATOVÉHO PROUDU	33
OBR. 3.10 PRŮBĚH SOUMĚRNÉHO ZKRATOVÉHO PROUDU.....	34
OBR. 3.11 NÁHRADNÍ SCHÉMA TROJVINŮTOVÉHO TRANSFORMÁTORU.....	37
OBR. 4.1 NÁHRADNÍ SCHÉMA ŘEŠENÉ SOUSTAVY	40
OBR. 5.1 VEDENÍ 110 kV PŘÍSLUŠÍCÍ TR. ŽELENICE	45
OBR. 5.2 VEDENÍ TR. ŽELENICE- TR. TĚCHLOVICE	46
OBR. 5.3 VEDENÍ TR. ŽELENICE – TR. PODHÁJÍ	48
OBR. 5.4 VEDENÍ TR. ŽELENICE – TR. DĚČÍN VÝCHOD	49
OBR. 5.5 VEDENÍ TR. ŽELENICE – TR. DĚČÍN VÝCHOD	50

Seznam tabulek

TAB. 4.1 ZKRATOVÉ POMĚRY SÍŤE 110kV	40
TAB. 4.2 ŠTÍTKOVÉ ÚDAJE T101	40
TAB. 4.3 ZKRATOVÉ POMĚRY ZA T101	41
TAB. 4.4 ŠTÍTKOVÉ ÚDAJE T102	42
TAB. 4.5 ZKRATOVÉ POMĚRY ZA T102.....	42
TAB. 4.6 ŠTÍTKOVÉ ÚDAJE T103	43
TAB. 4.7 ZKRATOVÉ POMĚRY ZA T103.....	43
TAB. 4.8 ŠTÍTKOVÉ ÚDAJE T104	44
TAB. 4.9 ZKRATOVÉ POMĚRY ZA T104.....	44
TAB. 5.1 PARAMETRY VEDENÍ V199	46
TAB. 5.2 NASTAVENÍ DISTANČNÍ OCHRANY TĚCHLOVICE V1515.....	46
TAB. 5.3 NASTAVENÍ DISTANČNÍ OCHRANY TR. ŽELENICE- TR. TĚCHLOVICE.....	47
TAB. 5.4 PARAMETRY VEDENÍ V1505	48
TAB. 5.5 NASTAVENÍ DISTANČNÍ OCHRANY TĚCHLOVICE V1574.....	48
TAB. 5.6 NASTAVENÍ DISTANČNÍ OCHRANY TR. ŽELENICE- TR. PODHÁJÍ	48
TAB. 5.7 PARAMETRY VEDENÍ V1575	49
TAB. 5.8 NASTAVENÍ DISTANČNÍ OCHRANY TĚCHLOVICE V1514.....	49
TAB. 5.9 NASTAVENÍ DISTANČNÍ OCHRANY TR. ŽELENICE- TR. VÝCHOD.....	49
TAB. 5.10 PARAMETRY VEDENÍ V160	50
TAB. 5.11 NASTAVENÍ DISTANČNÍ OCHRANY CHOTĚJOVICE V984.....	50
TAB. 5.12 NASTAVENÍ DISTANČNÍ OCHRANY TR. ŽELENICE- TR. CHOTĚJOVICE	52

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na kontrolu a přepočítání elektrických ochran transformovny Děčín - Želenice. Přepočtem bude ověřena správnost nastavení ochran. Práce se dále zabývá výpočtem zkratových poměrů v uzlových bodech a následným návrhem nového osazení elektrických ochran za účelem zvýšení kvality a spolehlivosti dodávky elektrické energie. Provozovatelem elektrické, distribuční sítě do níž náleží tr. Želenice je společnost ČEZ a.s, která působí na většině území ČR. Vzhledem ke své rozsáhlosti, byla síť rozdělena do distribučních oblastí Sever, Střed, Západ, Východ a Morava. Tr. Želenice náleží k oblasti Sever a je uzlovou rozvodnou pro paralelní spolupráci čtyř transformátorů 400/110kV, vzhledem k tomu může být nastavení elektrických ochran a výpočet zkratových poměrů komplikovaný. Práce je rozdělena do pěti hlavních kapitol.

První kapitola se zabývá samotnou teorií chránění a seznámení se s nejdůležitějšími teoretickými aspekty potřebnými k výpočtu nastavení elektrických ochran.

Druhá kapitola nabízí stručným popis principu fungování a přehled funkcí současného osazení ochran tr. Želenice.

Třetí kapitola stručně pojednává o několika nejběžnějších poruchových stavech. Zároveň obsahuje teoretický výpočet zkratových proudů a výkonů potřebných k výpočtu zkratových poměrů v uzlových bodech.

Čtvrtá kapitola se zabývá konkrétními výpočty zkratových poměrů pro síť 35, 22 a 10kV. Výpočet zkratových poměrů pro síť 110kV není vzhledem ke své obtížnosti předmětem této práce. Zkratové poměry pro síť 110kV jsou tedy uvedeny pouze tabulkově.

V páté kapitole jsou uvedeny výpočty a tabulky týkající se nastavení ochran pro všechny napěťové hladiny tr. Želenice pro ochranu samotného vedení i transformátorů. V práci nejsou řešena nastavení ochran v přilehlých rozvodnách. Veškeré výpočty splňují požadavky podle normy PNE 33 3051 [3]. Návrh nového osazení a inovací současného stavu chránění transformovny je uveden v závěru.

1. Teorie chránění v elektrických stanicích distribuční soustavy

Část sítě chráněná elektrickou ochranou se nazývá chráněný objekt. Elektrické ochrany jsou zařízení, do kterých je přiveden přes přístrojové transformátory měřený výstup chráněného objektu. Z tohoto výstupu ochrana odvozuje stav objektu. Úkolem elektrických ochrany je kontrolovat stav elektrického zařízení a v případě poruchy, přechodné i trvalé, minimalizovat jeho poškození.

1.1 Třídění ochrany

Ochrany třídíme podle několika kritérií.

A. Dle typu chráněného objektu:

- | | |
|------------------|--------------------------|
| - kabelu | - generátoru |
| - transformátoru | - kondenzátorové baterie |
| - vedení | - motoru |
| - přípojnic | - odporníku |

B. Dle druhu poruchy:

- | | |
|------------------------|---------------------------|
| - zkratová | - na přetížení |
| - podpět'ová | - přepět'ová |
| - podfrekvenční | - nadfrekvenční |
| - při zemním spojení | - při zpětném toku výkonu |
| - při ztrátě buzení | - při nesouměrnosti |
| - při vektorovém skoku | - při záblesku |
| - při zvýšení tlaku | |

C. Dle principu fungování ochrany:

- | | |
|---------------------|--------------|
| - proudová | - napět'ová |
| - distanční | - rozdílová |
| - srovnávací | - wattová |
| - jalová | - frekvenční |
| - při nesouměrnosti | - mechanická |
| - optická | |

D. Dle doby působení:

- | | |
|----------------------|--------------------|
| - časově závislá | - časově nezávislá |
| - časově polozávislá | - mžiková |

- **Selektivita ochran** – selektivita ochran je schopnost ochrany nereagovat na poruchy, které jsou mimo objekt, nebo na poruchy dané stavovou veličinou, na kterou nesmí působit. Smysl selektivity je v tom, že je vypínán co nejmenší úsek elektrizační soustavy postižené poruchou. Zároveň co největší část nepoškozené soustavy zůstane v provozu, čímž se zmenšuje riziko ztráty stability elektrizační soustavy.

Selektivitu lze zajistit:

- odstupňováním vypínacích časů
- směrovým nastavením ochran
- odstupňování velikosti stavové veličiny
- měření více veličin současně (impedanční ochrany)
- měření na více místech (rozdílové, srovnávací ochrany a logické automaty)

V sítích VN distribuční soustavy oblast sever, uzemněných přes odporník, se používá výhradně selektivita odstupňováním vypínacích časů. U digitálních ochran může být časový odstup nastaven na 200ms. U mechanických ochran, vzhledem ke snížené přesnosti mechanického strojku, 300ms. Tento čas je získán součtem předpokládaných časových chyb, časového strojku ochrany 50ms a působení vypínače 30ms. Tyto chyby jsou brány s dostatečnou rezervou, proto je pro všechny tři případy uvažováno 100ms, u nových, moderních, digitálních ochran se chyba časového strojku zanedbává.

Časovou selektivitu můžeme vypočítat pomocí vzorce (1.1) [1]

$$\Delta t = t_{v(n-1)} + t_{r(n-1)} + t_{rn} + t_z \quad (1.1)$$

Kde:

- $t_{v(n-1)}$ Doba vypnutí vypínače předcházejícího (n-1) úseku,
- $t_{r(n-1)}$ celková kladná chyba časového členu ochrany předcházejícího úseku,
- t_m celková absolutní nejvyšší záporná chyba časového členu následující ochrany,
- t_z záložní čas (zahrnuje nepřesnosti předcházejících činitelů).

1.2.1 Data pro výpočet nastavení ochran

Pro správné nastavení ochran je třeba mít co možná nejpřesnější údaje. Každý výrobce má svá vlastní specifika a jím poskytnuté údaje se mohou lišit. Chybějící informace se dají vyhledat v technickém manuálu příslušného výrobce.

Je potřeba znát nastavení všech ochran připojených ve společné smyčce chráněné energetické soustavy, zda je použit systém opětovného zapínání a typ vypínačů v této soustavě. V ideálním stavu známe také minimální a maximální zkratové poměry na vstupní přípojnicí rozvodny ($Sk_{\max 3f}$, $Sk_{\min 3f}$, nebo $Ik_{\min 3f}$, $Ik_{\max 3f}$).

Co se týká transformátorů, je třeba znát:

- Způsob uzemnění uzlu transformátoru
- Štítkové údaje (S_n , U_n , u_k , P_k , P_0)
- Způsob provozu a odlehčování zátěže
- Způsob jištění na obou stranách
- Okolní teplotu

Uzlové odporníky:

- Štítkové údaje (typ, výrobce, U_n , R_n , I/sec , I_∞)
- Provedení (ve skříní bez skříně)
- Velikost měřicího transformátoru proudu

Zhášecí tlumivky:

- Štítkové údaje
- Naladění tlumivky
- Údaje připnutého odporníku (pokud je)
- Velikost U_0 při naladění, zemním spojení a připnutí odporníku

Měřicí transformátory proudu:

- Štítkové údaje
- Průřez a délku kabelu mezi ochranou a MTP

Nastavení zejména zemních ochran ovlivňují i některé parametry vedení:

Volná vedení:

- Typ vodiče
- Průřez vodiče
- Délka vedení
- Způsob provozu (paralelní chod)

Kabelová vedení:

- Typ kabelu
- Průřez
- Délka
- Počet kabelů na fázi
- Uspořádání
- Uložení
- Způsob provozu (paralelní chod)

Dále je třeba znát štítkové údaje generátorů, motorů a případně reaktorů, pokud jsou v chráněné smyčce instalovány. [1]

2. Teoretický rozbor použitých ochran

V kapitole 1.1 ad D je popsáno třídění ochran dle doby působení. Pro chránění sítí VN distribuční soustavy oblast Sever se používají výhradně časově nezávislé charakteristiky, vzhledem k častému kombinování digitálních a mechanických ochran. Tato kapitola tedy popisuje ochrany časově nezávislé a okrajově, pro případ modernizace, ochrany časově závislé. Tr. Želenice je z hlediska použitých ochran netypická. Hladiny 110 a 35kV jsou osazeny moderními digitálními ochranami, zatím co hladiny 22 a 10kV starými analogovými.

2.1 Popis současného stavu chránění rozvodny Děčín-Želenice

Tr. Želenice je důležitým propojovacím uzlem oblastí 110kV, Výškov, Verněřov, Chotějovice, Babylon pro paralelní provoz transformátorů 400/110kV. Mimo hladinu VVN 110kV jsou na rozvodně v provozu tři hladiny napětí VN 35, 22 a 10kV. V minulosti provozovaných 6kV, byly v rámci unifikace napětí unifikovány na hladinu 22kV. Dále se v blízké budoucnosti uvažuje o unifikaci zařízení 10kV na 22kV, jelikož nedokáže přenést dostatečný, zákazníkem poptávaný výkon. Zařízení 35kV zůstává v provozu, ale vzhledem k zvýšeným nárokům na izolaci a celkové složitosti konstrukce, se po zmíněné přestavbě zařízení 10kV plánovala celková unifikace na hladinu 22kV. Od té se vzhledem k postupující technologii upustilo a síť zůstane nadále v provozu.

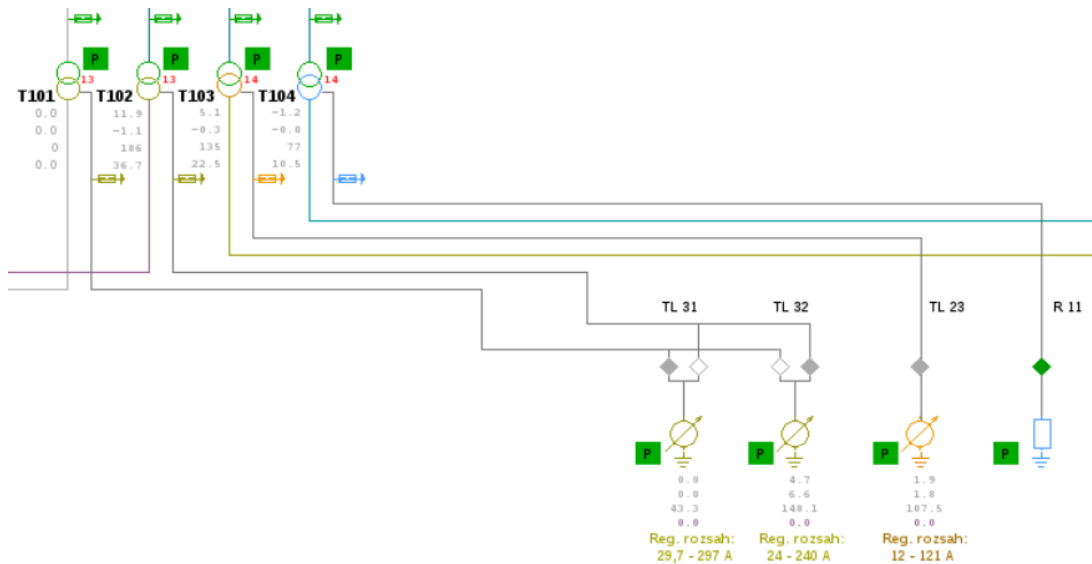
Na VN části jsou v provozovány dva druhy zemnění uzlu transformátoru:

- Nepřímo uzemněno přes tlumivku
- Nepřímo uzemněno přes odporník

Síť 35 (2 transformátory) a 22kV (1 transformátor) je provedena nadzemním vedením s uzlem transformátoru uzemněným přes Petersenovu tlumivku. Petersenova (zhášecí) tlumivka je samoladitelné zařízení určené ke kompenzaci poruchových kapacitních proudů při zemním spojení. Její součástí je odporník, který se paralelně připojuje k vinutí tlumivky. Odporník slouží k navýšení činného proudu při poruše, který využívají směrové ochrany k detekci zemního spojení. Ladění probíhá pomocí zvětšování, nebo zmenšování vzduchové mezery. Tlumivky nejsou nikdy naladěny na rezonanci (rezonance = nekonečný odpor, hrozí rozkmitání sítě), ale jsou mírně podladěny, nebo přeladěny. Rozvodna Děčín-Želenice používá Petersenovy tlumivky podladěné o 3A z proudového rozsahu. To znamená kapacitní charakter sítě. Výhodou potom je menší proud při poruše a možnost krátkodobého provozu sítě při zemním spojení, nevýhodou je vyšší pořizovací cena a nutnost zvýšené izolace z důvodu sdruženého napětí mezi nepoškozenou fází a zemí při zemním spojení.

Síť 10kV (celkem 1 transformátor) je provedena kabelovým vedením. Vyladění tlumivky na kabelovém vedení by bylo nemožné z hlediska absence U_0 . Kabelová síť je symetrická a není možné tlumivku doladit. Přímo uzemněnou sítí tečou u jednofázových poruch velké proudy a takových poruch je na hladině VN velké množství. Proto se mezi nulový bod transformátoru a zem zapojuje odporník ke snížení tohoto poruchového proudu. U kabelového vedení je většina poruch trvalá a nemůže tedy dojít k samozhášení oblouku jako na venkovních vedeních. Poruchový proud je možné omezit vhodnou volbou velikosti odporu odporníku podle vztahu (1.2).

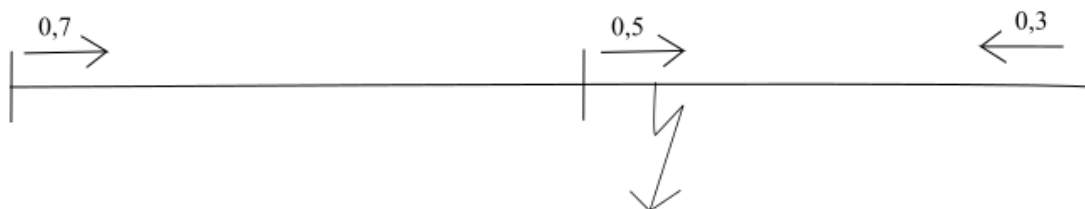
$$R < \frac{1}{3\omega C} \quad (2.2)$$



Obr. 2.1 Uzemnění uzlů VN transformátorů v TR Želenice

2.1.1 Opětovné zapnutí

Většina poruch venkovního vedení (70- 95%) je obloukového charakteru, tedy po vypnutí postižené fáze, nebo fází oblouk sám ustane a je možné postiženou síť znovu zapnout do bezporuchového provozu. K tomu slouží takzvané automatiky opětovného zapnutí. Tr. Želenice je vybavena třípólovým (0+3) systémem OZ na straně VN (z důvodu nepřímého uzemněného uzlu nemá jednopólový systém smysl) a tří/jednopólovým (3+1) systémem na straně VVN. V případě použití třípólového OZ na straně VVN jsou vypínače vybaveny systémem synchrocheck, který kontroluje okamžité synchronní sepnutí při OZ. Automatiky OZ mají nastavitelnou délku beznapěťové pauzy, v případě TR Želenice 0,3 vteřiny. Při nasazení synchrochecku pro OZ se musí udržovat selektivita i pro zapínání OZ. Ochrana, která bude synchronizovat, musí mít z protější strany napájení, proto se nově používají pro třípólové OZ časy 0,3 0,5 a 0,7 vteřiny.



Obr. 2.2 Selektivita OZ

2.2 Ochrany pro část rozvodny 110kV

2.2.1 Distanční ochrana

Jedna ze základních ochran vedení ZVN a VVN. Je selektivnější než směrová proudová ochrana, která zjistí pouze směr, ve kterém se porucha nachází. Při poruše na homogenním vedení dojde ke změně reaktance a odporu úměrně k délce vedení. Nastavovací hodnoty R a X jsou snadno vypočitatelné, protože hodnoty x_k , r_k jsou v praxi známé. Získáme vztahy (2.1) a (2.2).

$$X = x_k \cdot l \text{ [}\Omega, \Omega/\text{km, km]} \quad (2.1)$$

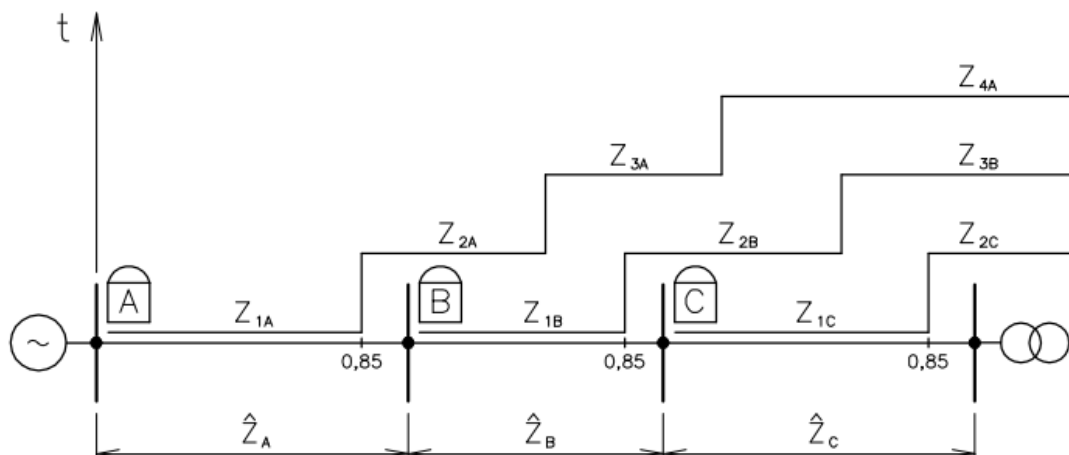
$$R = r_k \cdot l \text{ [}\Omega, \Omega/\text{km, km]} \quad (2.2)$$

Kde:

X	celková reaktance,
R	celkový odpor,
r_k	odpor vedení na 1km,
x_k	reaktance vedení na 1km,
l	délka vedení.

Ochrana využívá principu měření impedance zkratové smyčky. Ochrana měří proud I_k a U_k . Při zkratu jsou tyto veličiny vázány Ohmovým zákonem a jednoznačně určují impedanci smyčky a tím i vzdálenost místa zkratu od ochrany.

Jako příklad výpočtu nastavení distanční ochrany použijeme fiktivní vedení o délce jednotlivých tří úseků Z_a , Z_b a Z_c . Z obrázku (2.1) vyplývá schopnost selektivního vypínání. Rychlost reakce distanční ochrany je závislá na nastavení impedančních stupňů, které se nastavují podle vedení. V nejbližším úseku Z_{1A} je rychlost reakce ochrany omezena pouze rychlostí příslušného vypínače (přibližně 50ms) a rychlostí reakce ochrany (přibližně 30ms), celkově se při použití analogových, nebo kombinaci analogových a digitálních ochran používá časové odstupňování 300ms. Pokud jsou ve smyčce instalovány pouze moderní, digitální, distanční ochrany jako v tr. Želenice (7SA611), rychlost reakce časového strojku se zanedbává. Je tedy možné jednotlivé časové úseky Z_{2A} až Z_{xA} stupňovat po 200ms.



Obr. 2.3 Nastavení impedančně časové charakteristiky [2]

V prvním stupni je vypnutí distanční ochrany A mžikové. Nastavení poruchové impedance Z_{1A} se v praxi nastavuje podle vztahu (2.3). Druhý a třetí stupeň ochrany A podle vztahů (2.4) a (2.5). Pokud ochrana chrání úsek za rozvodnou s velkým zkratovým příspěvkem (například úsek B), uvažujeme 3x větší impedanci tohoto úseku. Pro zjednodušení se v praxi uvažuje 2x větší boční příspěvek výkonu a následné odvození je potom podle vztahu (2.7). V drtivé většině případů je tento příspěvek vyšší.

$$Z_{1A} = 0,85 \cdot Z_A \text{ [}\Omega\text{]} \quad (2.3)$$

$$Z_{10Z} = 1,15 \cdot Z_A \text{ [}\Omega\text{]} \quad (2.4)$$

$$Z_{2A} = 0,85 \cdot (Z_A + 0,85 Z_B) \text{ [}\Omega\text{]} \quad (2.5)$$

$$Z_{3A} = 0,85 \cdot (Z_A + 0,85 (Z_B + 0,85 Z_C)) \text{ [}\Omega\text{]} \quad (2.6)$$

$$Z_{2B} = Z_A + Z_{1B} \cdot \left(1 + \frac{I_2}{I_1}\right) = Z_A + 3Z_{1B} \text{ [}\Omega\text{]} \quad (2.7)$$

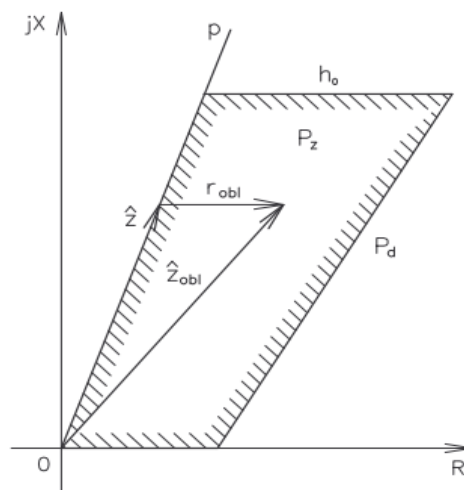
$Z_{1A} \neq Z_A$, pro správnou funkci selektivního vypínání. Při nastavování prvního úseku Z_{1A} hrozí překrytí impedančně časové charakteristiky s ochranou Z_{1B} , v případě přesahu by mohlo dojít ke zbytečnému odpojení poruchou nepostiženého úseku. Proto se berou v úvahu následující chyby:

- chyba přechodných dějů
- chyba PTP
- nepřesné určení impedance sítě
- rychlost mžikového působení ochrany

- rychlost vypínače
- bezpečnostní rezerva [2]

Celkový součet chyby činí v praxi přibližně 10%, z toho důvodu se v první zóně chrání pouze 85% délky úseku. Tyto výpočty lze použít při splnění následující podmínky. Úsek Z_{2A} musí ochránit minimálně 115% úseku Z_A . Stejně tak platí, že úsek Z_{3A} musí ochránit minimálně 115% úseku Z_A a Z_B . V případě, že podmínka není splněna, je nutné použít ve výpočtu čas a parametry vyššího úseku. Čtvrtá zóna se standardně nastavuje vyšší, než nejvyšší čas nadproudové ochrany transformátoru VVN/VN ve smyčce. Pátá zóna se v oblasti Sever jakožto poslední ochranný, nesměrový prvek distanční ochrany nastavuje na pevný čas 6 vteřin.

U distančních ochran se využívá impedanční charakteristika, která udává v principu množinu impedancí, které tvoří hranici mezi působením a blokováním ochrany. Její základ tvoří Gaussova rovina. Zkratová impedance pohybující se po přímce p odpovídá pouze kovovým zkratům. V případě zkratu obloukového charakteru je odpor oblouku r_{obl} v sérii se zkratovou impedancí a výsledná impedance smyčky je tedy \widehat{Z}_{obl} . Velikost odporu oblouku nelze přesně určit, a proto je třeba počítat s dostatečnou rezervou. Při praktických výpočtech se například používá empiricky odvozený výpočet $r_{obl} = \frac{28707}{I_k} \times 1 [\Omega]$, v tomto okamžiku se různé zdroje rozcházejí. Na základě zkušeností se při nastavování distančních ochran v Tr Želenice připočítává 20Ω představujících právě odpor oblouku.



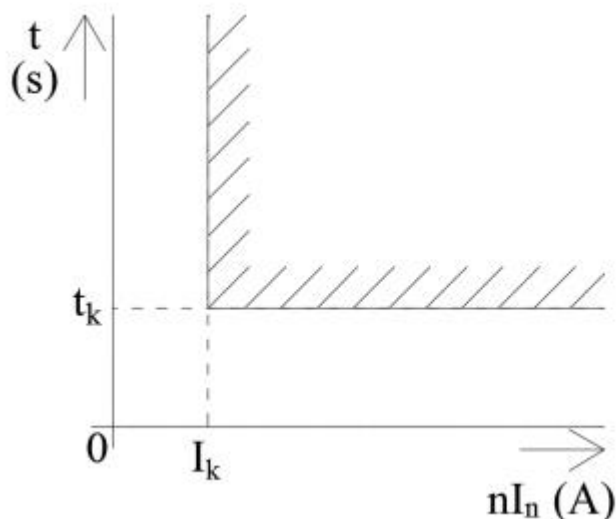
Obr. 2.4 Ideální impedanční charakteristika distanční ochrany [2]

Digitální ochrany firmy Siemens 7SA611 instalované tr. Želenice využívají poměr zemního odporu a zemní reaktance.

2.3 Ochrany pro část rozvodny VN

2.3.1 Směrová nadproudová a zkratová ochrana

Jedná se o nejrozšířenější ochrany. Jsou používány hlavně pro svou jednoduchost a nízkou pořizovací cenu, i když postrádají takovou selektivitu jako například distanční nebo rozdílové ochrany. Nadproudové zkratové ochrany reagují na zvýšený proud ve fázích chráněného obvodu při přetížení, nebo zkratu. Přetížení a zkrat se liší velikostí a dobou trvání poruchového proudu, například přetížení nedosahuje takových hodnot poruchového proudu jako zkrat, ale trvá mnohonásobně déle. Nadproudové ochrany se nastavují zpravidla $1,4 \cdot I_n$ až $1,6 \cdot I_n$, zkratové závisí na minimální zkratovém výkonu v místě poruchy. Časově nezávislé ochrany mají pevně zvolenou vypínací hodnotu I_k . Mají rychlou reakční dobu, ta však bývá uměle zpožděna pro zajištění selektivity v chráněném úseku, tedy vypínací čas t_k je možné v určitém rozmezí nastavovat. V případě mžikových ochran je čas t_k nastaven co nejblíže k nule, tzn. zpoždění je ovlivněno pouze vlastní funkcí ochrany, které se pohybuje do 10ms.



Obr. 2.5 Charakteristika časově nezávislé proudové ochrany [2]

Směrové nadproudové ochrany v tr. Želenice vyhodnocují směr toku proudu pomocí snímání zkratového proudu postižené fáze a sdružené napětí nepostižených fází. Pro určení směru toku proudu je potřeba zapojení jak proudových, tak napěťových měničů. Správné

vyhodnocování je nutné i pro přechodné poruchy, to je zajištěno opakovaným měřením. Problém nastává při třífázovém blízkém zkratu, kdy se napětí blíží nule, v tomto případě ochrany dopočítávají předpokládané napětí.

Při nastavování proudových ochran záleží, zda chceme chránit proti nadproudu, nebo zkratu. Časovou selektivitu lze nastavit podle vztahu (1.1). Čas nadproudových ochran začíná minimálně na 0,3 vteřinách. Vztah pro nastavení rozběhového proudu pro zkratové ochrany:

$$I_r < \frac{I_{kmin}}{k_c \cdot p_i} \quad (2.6)$$

Kde:

I_{kmin} minimální zkratový proud na konci chráněného úseku,

k_c koeficient citlivosti (volí se $\geq 1,5$),

p_i jmenovitý převod jistících transformátorů proudu.

Přičemž musí splňovat podmínku:

$$I_{kmin} > I_r > I_{zmax} \quad (2.7)$$

Kde:

I_{zmax} maximální hodnota zátěžného proudu, protékající vedení.

Nastavení rozběhového proudu pro nadproudové ochrany:

$$I_r > \frac{k_b \cdot I_z}{k_p \cdot p_i} \quad (2.8)$$

Kde:

I_z největší dovolené zatížení chráněného objektu,

k_p přídržný poměr relé (0,85 - 0,95),

k_b koeficient bezpečnosti (1,1 - 1,35).

2.3.2 Zemní směrová ochrana

Zemní směrová ochrana využívá pro svou funkci odporník připojený do pomocného vinutí tlumivky, ten vybudí v postižené fázi průchod činného proudu, který umí ochrana detekovat. Odporník je připojen na základě zvýšení U_0 automatikou ladění tlumivky. V Tr Želenice je ochrana nastavena na 5A primárně a 30V sekundárně v otevřeném trojúhelníku. Pokud se jedná o síť 10kV uzemněnou nepřímou přes odporník, nastavuje se zemní ochrana podle Vztahů (2.9) a (2.10). Odporník je také nutno chránit proti oteplení a využívá se proto

dvou stupňů chránění nadproudovou ochranou. Jednotlivé Stupně musí být navzájem časově odstupňované, přičemž druhý stupeň musí mít delší časovou konstantu než první stupeň a zároveň kratší než maximální doba zatížení podle štítku odporníku.

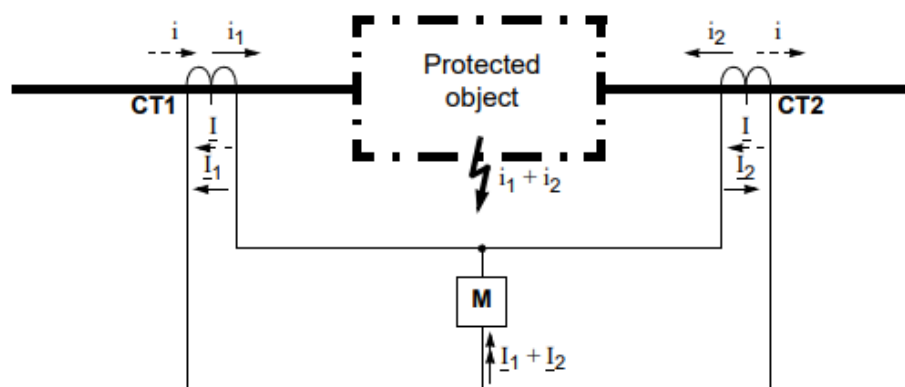
$$\text{Nastavení prvního stupně: } I_r \geq \frac{I_{nr-\min}}{k_c \cdot p_p} \text{ [A]} \quad (2.9)$$

$$\text{Nastavení druhého stupně: } I_r \geq \frac{I_{nr-\max}}{k_c \cdot p_p} \text{ [A]} \quad (2.10)$$

V tr. Želenice slouží zemní směrová ochrana pouze jako signalizace do ŘS.

2.3.3 Rozdílová ochrana

Rozdílová ochrana vyhodnocuje rozdíl proudů před a za chráněným objektem. Překročila-li rozdílová hodnota nastavenou hodnotu, ochrana odpojí chráněný objekt na primární i sekundární straně. V případě jednopólových OZ na primární straně 110kV nastává problém. Na primární straně se ztratila jedna fáze, ale na sekundární, vlivem kompenzace terciálním vinutím zapojeným do trojúhelníku, se tato ztráta neprojevuje. V dřívějších dobách bylo možné tento problém eliminovat například zapojením jádra proudového měniče pro rozdílovou ochranu s jedním jádrem zapojeným do trojúhelníku, jak na primární, tak na sekundární straně. Nevýhodou v tento moment byla nutnost vlastního proudového jádra měničů pro rozdílovou ochranu. V dnešní době si moderní digitální ochrany s tímto problémem poradí pomocí logických software operací. Rozdílová ochrana použitá v TR Želenice 7UT612 má proudovou stabilizaci definovanou jako:



Obr. 2.6 Princip rozdílové ochrany [4]

Vypínací, nebo rozdílový proud:

$$I_{\text{diff}} = |I_1 + I_2| \quad (2.11)$$

stabilizační proud:

$$I_{\text{rest}} = |I_1| + |I_2| \quad (2.12)$$

I_{diff} se vypočítá ze základní harmonické složky proudu a působí ve vypínacím smyslu, I_{rest} a I_{diff} působí proti sobě. Pro objasnění situace je třeba posoudit tři důležité provozní podmínky:

1. Průchozí proud při bezporuchovém provozu, nebo při poruše mimo chráněný objekt.

$$I_2 = -I_1 \quad (2.13)$$

$$I_{\text{diff}} = |I_1 + I_2| = |I_1 - I_1| = 0 \quad (2.14)$$

$$I_{\text{rest}} = |I_1| + |I_2| = |I_1| + |I_1| = 2|I_1| \quad (2.15)$$

V tomto případě chybí vypínací veličina, protože $I_{\text{diff}} = 0$ a stabilizace činí dvojnásobek celkového protékajícího proudu.

2. Vnitřní porucha při napájení z obou stran.

$$I_2 = I_1 \text{ a zároveň } |I_1| = |I_2| \quad (2.16)$$

$$I_{\text{diff}} = |I_1 + I_2| = |I_1 + I_1| = 2|I_1| \quad (2.17)$$

$$I_{\text{rest}} = |I_1| + |I_2| = |I_1| + |I_1| = 2|I_1| \quad (2.18)$$

Vypínací a stabilizační veličiny jsou stejně velké a odpovídají celkovému zkratovému proudu.

3. Vnitřní porucha napájená pouze z jedné strany.

$$I_2 = 0 \quad (2.19)$$

$$I_{\text{diff}} = |I_1 + I_2| = |I_1 + 0| = |I_1| \quad (2.20)$$

$$I_{\text{rest}} = |I_1| + |I_2| = |I_1| + 0 = |I_1| \quad (2.21)$$

Vypínací a stabilizační veličiny jsou stejně velké a odpovídají celkovému zkratovému proudu z jedné strany. [4]

Dalším velkým problémem je eliminace působení při zapínacím rázu transformátoru, při kterém rázový proud dosáhne několikanásobku proudu jmenovitého a může tak být chybně vyhodnocen jako zkrat. V tento moment se využívá vysokého podílu druhé harmonické při zapínacím rázu, která ve zkratu zcela chybí. Ochrana 7UT612 dokáže pro svou stabilizaci využít i jiné harmonické (např: 3. a 5. harmonickou). Nastavuje se tedy mez obsahu harmonické, jakmile je tato mez překročena, je vypnutí blokováno.

2.3.4 Chránění transformátoru

Transformátor je drahé zařízení, musí proto být v případě poruchy odpojeno v co nejkratším čase. Proto norma PNE 33 3051 přesně udává, které ochrany a za jakých podmínek použít. Transformátory musí být osazeny rozdílovou ochranou, nadproudovou ochranou při přetížení, primární nadproudovou ochranou, sekundární nadproudovou ochranou, zemní nádobovou ochranou, plynovou ochranou (součástí transformátoru) a je doporučeno použít tepelnou ochranu. Chránění transformátorů VVN/VN a VN/VN je totožné, pouze zemní nádobová ochrana se kvůli nepřímo uzemněnému uzlu transformátoru u VN/VN transformátorů neosazuje. Rozdílová ochrana je povinná pouze v případě, kdy nemůže být použita ochrana nadproudová mžiková, tedy nevyhoví časové nastavení časově nezávislé nadproudové ochrany, nebo od výkonu 25MVA včetně. Od výkonu 1,7MVA se její použití doporučuje. [3]

2.3.5 Plynová ochrana

Plynová ochrana (Buchholzovo relé) je ochrana u olejových transformátorů, umístěná mezi víko transformátoru a konzervátor. Vlivem například hoření oblouku v oleji vzniká výbušný plyn, na který reaguje plynové relé. Buchholzovo relé používá dva stupně, první stupeň signalizuje poruchu, druhý stupeň vypne transformátor.

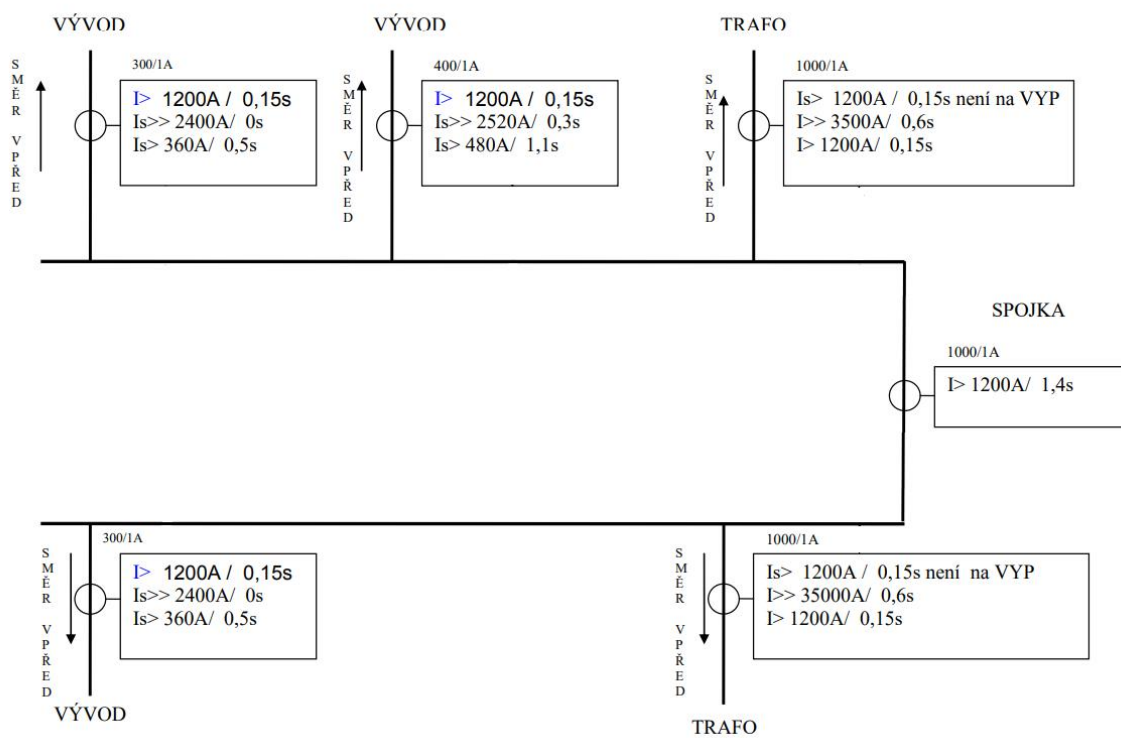
2.3.6 Chránění přípojnic

Předpokládá se vysoká spolehlivost přípojnic. Případné poruchy na přípojnicích bývají často zaviněné chybnou manipulací či nerespektováním ochranného pásma. V tomto případě jsou v ohrožení lidské životy, je tedy nutné vypínat je v co nejkratším čase. Problém je, že přípojnice jsou v případě osazení vývodu mechanickými ochranami chráněny až časem zkratové ochrany transformátoru, která zareaguje nejdříve až za 0,5 vteřiny, v případě tr. Želenice dokonce 0,8 vteřiny. Na nových, digitálních ochranách, které komunikují pomocí

protokolu IEC 61850, se tedy využívá takzvané logické ochrany rozvodny (zkráceně LOR). Digitální ochrany 7SJ645 instalované v tr. Želenice na hladině 35kV jsou schopny tuto LOR vytvořit. Vývody jsou osazené směrovými ochranami, které nezareagují na případnou poruchu uvnitř rozvodny. Pokud ochrana detekuje postiženou fázi, pošle blokovací signál (zprávu goose) na LOR. V případě, že LOR zaznamená nesměrovou poruchu a z žádné jiné směrové ochrany nepřijde blokovací popud, vypne veškeré nesměrové ochrany, které mají aktivní nadproudový článek LOR po odčasování. Funkce LOR bývá snadno vypnutelná, zamezí se tak nadbytečnému působení například při revizích.

Princip fungování LOR bodově:

- 1) Při popudu směrové ochrany Is každého vývodu pošle LOR zprávu GOOSE do každého vývodu a zablokuje rychlý stupeň nesměrové nadproudové ochrany Is>. Blokuje i vlastní nadproudový stupeň Is>.
- 2) U transformátorů je řešení odlišné, nadproudová ochrana Is> není naprogramována na vypnutí, pouze posílá blokovací GOOSE a blokuje pro sebe nesměrový nadproudový člen I>.
- 3) V případě sepnuté spojky dojde k vypnutí všech vývodů, u kterých nesměrový stupeň zaznamená poruchu a není blokován.
- 4) Při zapůsobení LOR každý vývod obdrží hlášení, zároveň lze v každém vývodu LOR vypnout. Tzn. vývod při popudu nevyšle blokovací GOOSE a rychlý člen nadproudové ochrany je trvale zablokován.
- 5) Při nulovém naměřeném napětí ochrana působí směrově, tedy posílá blokace. [5]



Obr. 2.7 Princip LOR [5]

3. Poruchové stavy

3.1 Zemní spojení

Zemní spojení představuje jednofázová porucha v sítích s neúčinně uzemněným, případně izolovaným uzlem. Sítě o napětové hladině 22kV nebo 35kV jsou provozovány právě jako neúčinně uzemněné. To může být provedeno buď přes Petersenovu tlumivku (venkovní vedení), nebo přes omezovací odporník (kabelová vedení) viz obrázek (1.2). při zemním spojení dochází k posunutí nulového bodu zdrojových napětí, přičemž protékající poruchový proud dosahuje přijatelných mezí. Je tedy možné krátkodobě provozovat síť při zemním spojení.

Druhy zemního spojení podle velikosti odporu:

- Kovové ZS - zanedbatelná velikost odporu.
- Odporové ZS - $R > 0$.

Druhy zemního spojení podle průběhu:

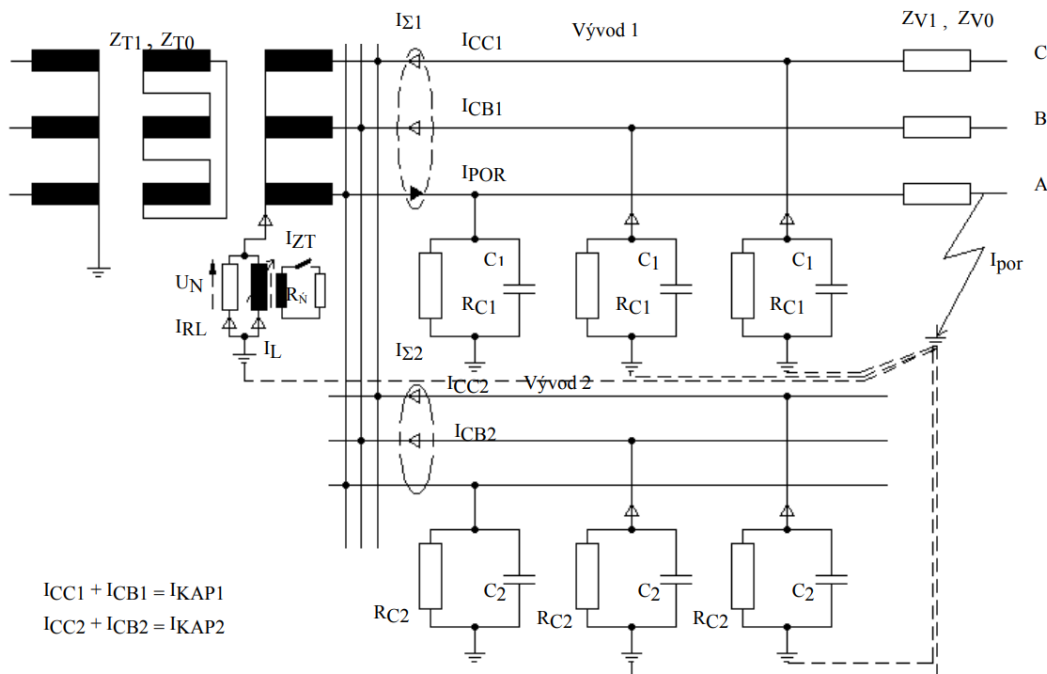
- Trvalá ZS.
- Přerušovaná ZS – může dojít k rozkmitání sítě.

Výhody kompenzace zemního spojení:

- Místem ZS protékají proudy přípustné velikosti.
- Nedochozí k destrukci zařízení v místě ZS.
- Sníží se nebezpečné dotykové napětí.
- Omezí se velikost přepětí.

3.1.1 Detekce zemního spojení

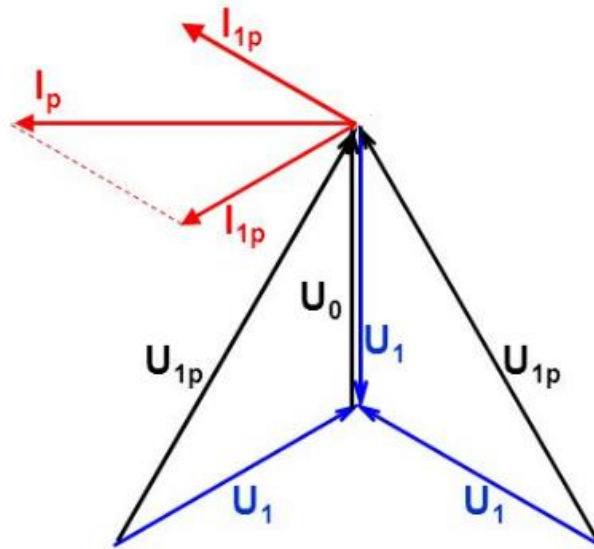
Princip detekce ZS je znázorněn na obrázku 2.4. Vývody jsou v tomto případě opatřeny součtovými transformátory I_{Σ} .



Obr. 3.1 Kompenzovaná síť se dvěma vývody [2]

Součtové transformátory I_{Σ} nepřetržitě měří protékající proud. V bezporuchovém stavu se proudy vektorově odečtou. V případě poruchy se na vývodu výsledný vektorový součet proudů nerovná nule a ochrany signalizují poruchu. Problém může nastat při vysokoohmových zemních spojeních, kdy je proud tekoucí poruchou příliš nízký pro snadnou detekci. U kompenzovaných sítí je navíc nutné udržovat síť ve vyladěném stavu, jinak při poruše hrozí vznik velkých přepětových rázů. Další problém by mohl nastat při kovovém zemním spojení vzhledem k nízkému U_0 , tento problém lze snadno eliminovat přesným nastavením zemní ochrany.

V praxi jsou v tr. Želenice všechny tři fáze protaženy skrz jeden součtový transformátor. Vzhledem k tomu, že součtovým transformátorem prochází i stínění fází, musí být provlečeno znovu zpátky a uzemněno, potom se výsledný proud stíněním rovná nule.



Obr. 3.2 Fázorový diagram při zemním spojení

3.2 Zkrat

Jednou z nejčastějších poruch v přímo uzemněných sítích jsou zkraty. Místem vzniku zkratu protéká, vlivem výrazného snížení impedance smyčky, několikanásobně vyšší proud, než je jeho jmenovitá hodnota. To způsobuje nepříznivé tepelné a dynamické účinky, jedná se tedy o poruchový stav, který je potřeba co nejrychleji detekovat a vypnout. Velikost a časový průběh zkratového proudu je určen napětovým zdrojem, impedancí smyčky a okamžikem vzniku. Průběh zkratového proudu je přechodový děj. Sledujeme tedy jeho počátek, přechodnou část a ustálený zkratový průběh (utlumený přechodový děj).

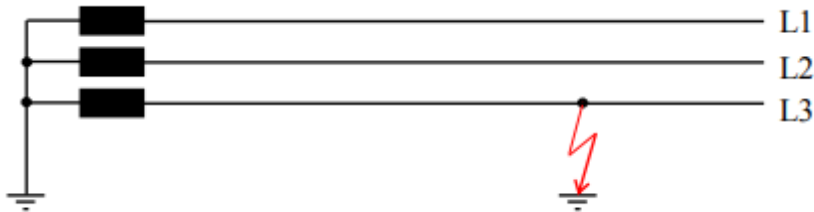
Je třeba neplést zkrat a zemní spojení. Pokud je soustava s neúčinně uzemněným uzlem, tedy přes tlumivku, nebo velkou impedanci, jedná se o zemní spojení. Ke zkratům tedy může docházet pouze v sítích s přímo uzemněným uzlem, tedy kde činitel zemního spojení je menší než 1,4.

3.2.1 Dělení zkratových poruch

Nesouměrné:

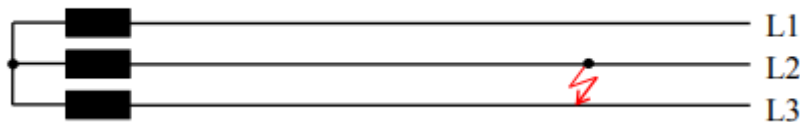
1. Příčné (mezi uzlem a zemí):

- Jednofázový zkrat – spojení jedné fáze se zemí.



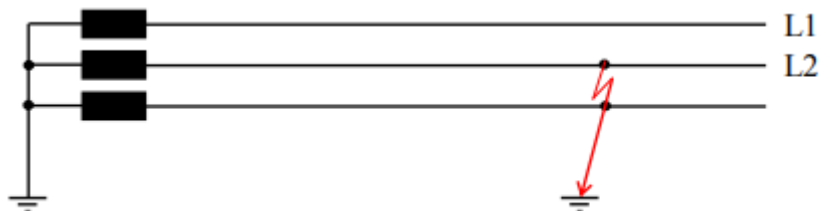
Obr. 3.3 Jednofázový zkrat

- Dvoupólový zkrat – spojení dvou fází v jednom místě.



Obr. 3.4 Dvufázový zkrat

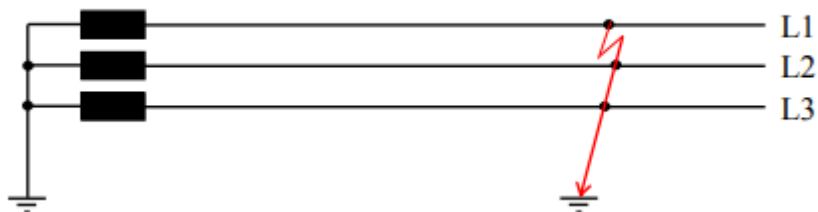
- Dvufázový zemní zkrat – spojení dvou fází se zemí v jednom místě.



Obr. 3.5 Dvufázový zemní zkrat

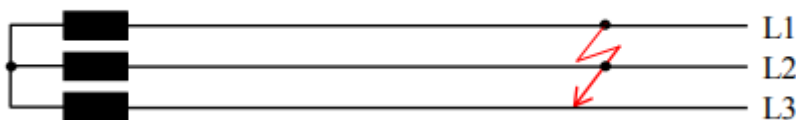
2. Podélné:

- Třífázový zkrat



Obr. 3.6 Třífázový zkrat

- Trojpólový zkrat – jedná se o spojení všech tří fází v jednom místě, nejčastěji k němu dochází u kabelových vedení při porušení izolace. Může dosáhnout nejvyšších předpokládaných hodnot zkratového proudu. [2]



Obr. 3.7 Třípólový zkrat

3.2.2 Průběh zkratového proudu

Rozlišujeme dva druhy průběhu zkratového proudu, souměrný a nesouměrný. Průběh závisí na okamžiku vzniku zkratu.

1) Nesouměrný zkratový proud

Jedná se o nejméně příznivý případ, průběh se skládá ze složky stejnosměrné a střídavé. Výchozí podmínky vzniku jsou:

- Vznik v nezátížené větvi.
- Zanedbatelný odpor.
- Sinusové napětí v okamžiku vzniku zkratu prochází nulou → **zkratový proud začíná svým maximem.** [2]

Výsledný zkratový proud je tedy součtem střídavé i_k a stejnosměrné složky i_{DC} viz obrázek (3.10). Bývá převážně indukčního charakteru, tedy zpožděný za napětím o 90° . Průběh stejnosměrné složky i_{DC} s časem klesá a určit její přesný průběh je téměř nemožné, vychází se tedy z rázové složky v okamžiku vzniku zkratu s nejméně příznivými podmínkami, tedy s fází, která má nejvyšší možnou stejnosměrnou složku. [3]

$$i_{DC} = \sqrt{2} \cdot I_k'' \cdot e^{-2\pi f t \frac{R}{X}} \quad (3.1)$$

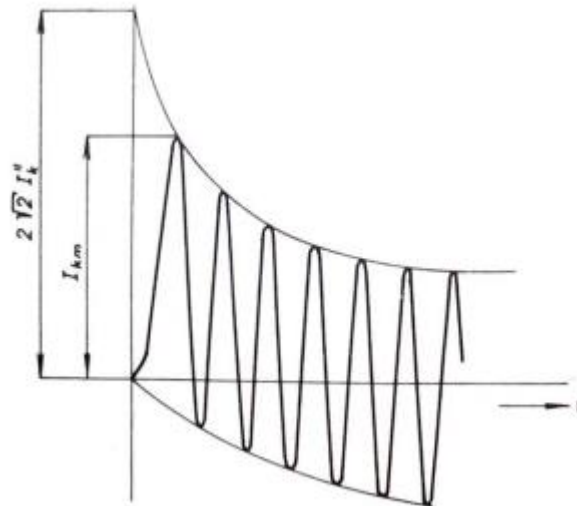
Kde:

I_k'' počáteční souměrný rázový proud,

f frekvence,

t doba trvání zkratu,

R/X podle ČSN EN 60909-0.



Obr. 3.8 Průběh nesouměrného zkratového proudu

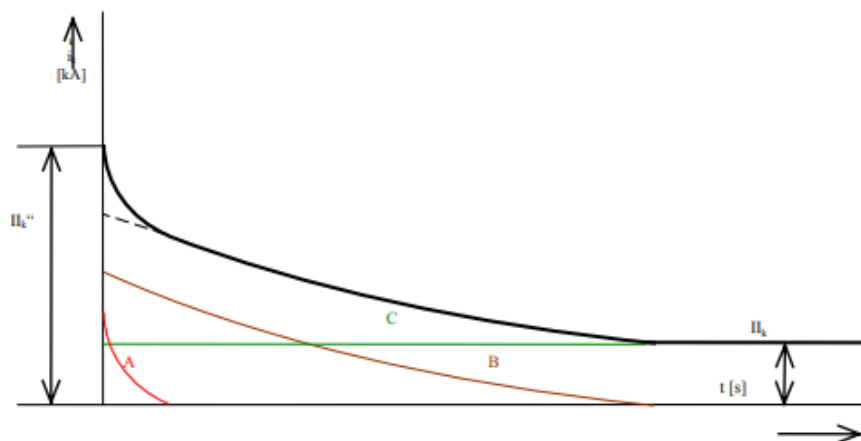
2) Souměrný zkratový proud

U souměrného zkratu se stejnosměrná složka nevyvine. Projeví se pouze střídavá složka a jedná se tedy o příznivější případ zkratu. Výchozí podmínky vzniku jsou:

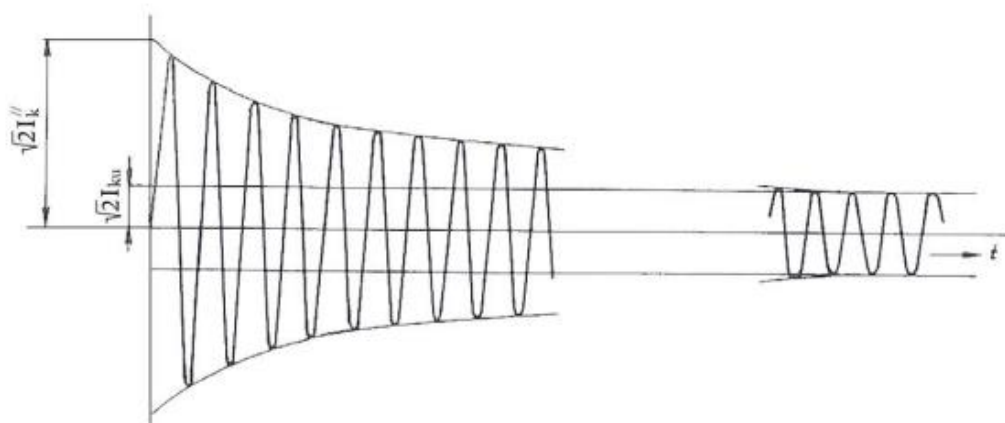
- Vznik v nezátížené větvi.
- Zanedbatelný odpor.
- Sinusové napětí v okamžiku vzniku zkratu prochází maximem → **zkratový proud začíná v nule.**

Proud i_k má frekvenci sítě a s narůstajícím časem souměrně klesá (obr. 3.6). Skládá se ze tří složek:

- A. Rázová složka, klesá exponenciálně.
- B. Přechodná složka, klesá exponenciálně.
- C. Ustálená, tedy konstantní.



Obr. 3.9 Efektivní hodnota souměrného zkratového proudu



Obr. 3.10 Průběh souměrného zkratového proudu

3.2.3 Teoretický výpočet zkratových poměrů

V následující kapitole je popsán postup potřebný pro výpočty speciálně rozvodny Děčín – Želenice. Vzhledem k tomu, že na rozvodně nejsou reaktory, motory ani alternátory, nebudou v této kapitole podrobně uvedeny.

Základní předpoklady:

- Předpokládáme, že se parametry prvků elektrizační soustavy nemění.
- Považujeme soustavu před zkratem za symetrickou.
- Při trvání zkratu se změny v topologii sítě uvažují, pouze změní-li se velikost ekvivalentního oteplovacího proudu.
- Předpokládá se (mimo jednofázového zkratu), že vícenásobné zkraty vznikají v jednom místě a současně spolu.
- Neuvažuje se odpor elektrického oblouku.
- Uvažuje se vliv motorů a kompenzátorů.
- Vliv polovodičových součástek se uvažuje, pouze tehdy dodávají-li, při zkratu, do sítě zkratový proud.

Stanovení maximálního zkratového proudu:

Pro výpočty je uvažován nejméně příznivý stav sítě. Ochrany dokážou tento stav snadno detekovat, ale takto vysoký proud může mít fatální důsledky na instalované zařízení i v krátkém čase. Předpokládá se:

- Provozně přípustné zapojení soustavy, které v místě zkratu dává největší zkratový výkon.
- Chod zdrojů se jmenovitým účínkem, napětím a výkonem.
- Při výpočtech s činným odporem uvažujeme teplotu vodičů 20°C. [1]

Stanovení minimálního zkratového proudu:

Vychází se z omezeného provozního stavu sítě. Tento stav je nejméně příznivý pro ochrany. Tyto poruchy je obtížné detekovat, jejich detekce záleží na nastavení citlivosti ochran. Předpokládá se:

- Zapojení soustavy, která zajišťuje jen minimální odběry.
- Nízký počet zdrojů, které přispívají do místa zkratu, nebo pracují naprázdno.
- Vliv motorů se neuvažuje.
- Při výpočtech s činným odporem se uvažuje teplota venkovního vedení 80°C, nebo maximální přípustná teplota u kabelových vedení.

Postup výpočtu zkratových poměrů:

Výpočet zkratových poměrů se provádí dvěma způsoby, ve fyzikálních jednotkách tzn. skutečné hodnoty, nebo v poměrných hodnotách.

1. Sestavení smyčky (schématu dané soustavy), uvažujeme jmenovité hodnoty výkonu a napětí.
2. Vytvoření náhradního schématu soustavy – pro nesouměrné zkraty náhradní schéma zpětné, nulové i sousledné, pro souměrné zkraty pouze sousledné schéma.
3. Stanovení impedance všech prvků v náhradním schématu soustavy.
4. Pro každý složkový systém je potřeba určit impedance nakrátko vztažená k místu zkratu.
5. Výpočet počátečního zkratového proudu.

6. Výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu.
7. Výpočet nárazového a vypínacího zkratového proudu. [1]

Zkratové poměry:

- Počáteční zkratový proud I''_{k3} při trojfázovém zkratu:

$$I''_{K3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)}|} \text{ [kA, -, kV, } \Omega \text{]} \quad (3.1)$$

- Počáteční rázový zkratový proud I''_{k2} při dvoufázovém zkratu:

$$I''_{K2} = \frac{c \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} \text{ [kA, -, kV, } \Omega \text{]} \quad (3.2)$$

- Počáteční rázový zkratový proud I''_{k1} při jednofázovém zkratu:

$$I''_{K1} = \frac{c \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} \text{ [kA, -, kV, } \Omega \text{]} \quad (3.3)$$

- Nárazový zkratový proud:

$$i_p = k \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{K} \text{ [kA, -, kA]} \quad (3.3)$$

- Ekvivalentní oteplovací zkratový proud:

$$I_{th} = I''_{K} \cdot \sqrt{m + n} \text{ [kA]} \quad (3.3)$$

Kde:

C	napěťový činitel
U_n	jmenovité sdružené napětí v místě zkratu
$Z_{(1)}$	výsledná sousledná impedance zkratového obvodu
$Z_{(2)}$	výsledná zpětná impedance zkratového obvodu
$Z_{(0)}$	výsledná nulová impedance zkratového obvodu

Zkratový výkon:

$$S''_k = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{K} \text{ [MVA, -, kA]} \quad (3.3)$$

Náhradní impedance soustavy:

- Sousedná složka:

$$Z_{(1)} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3}} [\Omega, -, \text{kV}, \text{MV}] \quad (3.4)$$

- Zpětná složka:

$$Z_{(2)} = Z_{(1)} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3}} [\Omega, -, \text{kV}, \text{MV}] \quad (3.5)$$

- Nulová složka:

$$Z_{(0)} = c \cdot U_n^2 \cdot \left(\frac{3}{S_{k1}} - \frac{2}{S_{k3}} \right) [\Omega, -, \text{kV}, \text{MV}] \quad (3.6)$$

Kde:

U_n jmenovité sdružené napětí nahrazované sítě

S_k zkratový výkon soustavy

Náhradní impedance dvouvinutového transformátoru:

- Sousedná složka:

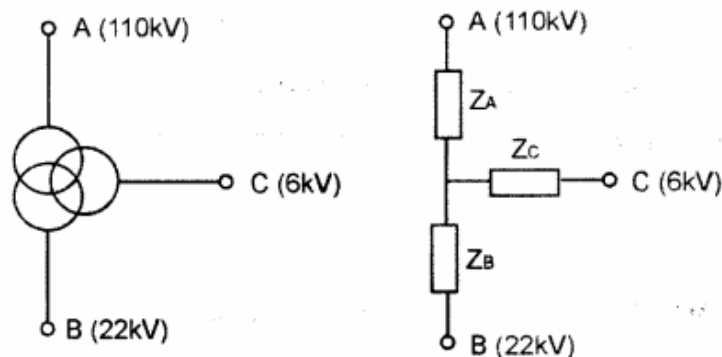
$$Z_{(1)} = \frac{u_k \times U_{nT}^2}{100 \times S_{nT}} [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MV}] \quad (3.7)$$

- Zpětná složka:

$$Z_{(2)} = Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} [\Omega, \%, \text{kV}, \text{MV}] \quad (3.8)$$

- Nulová složka: určuje se podle zapojení transformátoru a jeho konstrukce.

Náhradní impedance trojvinutového transformátoru:



Obr. 3.11 Náhradní schéma trojvinutového transformátoru

- Sousedná složka:

$$Z_{(AB)} = \frac{u_{kAB} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTAB}} [\Omega, \%, kV, MV] \quad (3.9)$$

$$Z_{(AC)} = \frac{u_{kAC} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTAC}} [\Omega, \%, kV, MV] \quad (3.10)$$

$$Z_{(BC)} = \frac{u_{kBC} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTBC}} [\Omega, \%, kV, MV] \quad (3.11)$$

$$Z_{(1A)} = \frac{1}{2} (Z_{AB} + Z_{AC} - Z_{BC}) [\Omega] \quad (3.12)$$

$$Z_{(1B)} = \frac{1}{2} (Z_{AB} + Z_{BC} - Z_{AC}) [\Omega] \quad (3.13)$$

$$Z_{(1C)} = \frac{1}{2} (Z_{AC} + Z_{BC} - Z_{AB}) [\Omega] \quad (3.14)$$

Kde:

$u_{k(AB)}$ jmenovité napětí nakrátko mezi AB,

$U_{nT(AB)}$ jmenovité napětí transformátoru na vinutí B,

$S_{nT(AB)}$ jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru na vinutí B.

- Zpětná složka:

$$Z_{(2A)} = Z_{1A}, Z_{(2B)} = Z_{1B}, Z_{(2C)} = Z_{1C} [\Omega] \quad (3.15)$$

- Nulová složka: určuje se podle zapojení transformátoru a jeho konstrukce.

Náhradní impedance vedení:

- Sousedná složka:

$$R_{(1)} = R_k \cdot l [\Omega, \frac{\Omega}{km}, km] \quad (3.16)$$

$$X_{(1)} = X_k \cdot l [\Omega, \frac{\Omega}{km}, km] \quad (3.17)$$

- Zpětná složka:

$$R_{(1)} = R_{(2)} = R_k \cdot l [\Omega, \frac{\Omega}{km}, km] \quad (3.18)$$

$$X_{(1)} = X_{(2)} = X_k \cdot l [\Omega, \frac{\Omega}{km}, km] \quad (3.19)$$

$$Z_{(1)} = Z_{(2)} = jX_1 + R_1 [\Omega] \quad (3.20)$$

Kde:

R_k rezistence na 1km vedení,

X_k reaktance na 1km vedení,

l délka vedení.

- Nulová složka: Pro distanční ochrany

Nulovou složku lze získat pomocí metody souměrných složkových soustav. Pro účely této diplomové práce postačí finální matice bez odvození. [6]

$$\begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_{L1L1} & Z_{L1L2} & Z_{L1L3} \\ Z_{L2L1} & Z_{L2L2} & Z_{L2L3} \\ Z_{L3L1} & Z_{L3L2} & Z_{L3L3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Kde:

$Z_{1;2;0}$ složkové hodnoty impedancí

Z_i viděná impedance i-tého vodiče

Při výpočtech ve fyzikálních jednotkách, musíme parametry přepočítat na napěťovou hladinu v místě poruchy podle vztahu:

$$Z_{(2)} = Z_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 [\Omega, \Omega, kV, kV] \quad (3.20)$$

4. Výpočet poměrů při zkratu v základních bodech

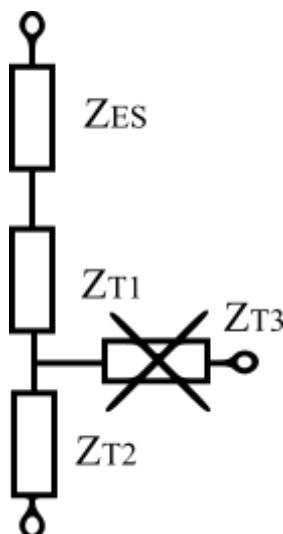
4.1 Zkratový výkon sítě 110kV.

Vzhledem k paralelnímu provozu sítě 110kV oblasti Sever by byl ruční výpočet zkratových poměrů velmi složitý. Pro účely diplomové práce budou použity hodnoty zkratových proudů, vypočítané výpočtovým programem Bizon, používaným společností ČEZ právě pro tyto účely. Výpočtem se podrobně zabývá studie Ing. Jiřího Bermana: „Propojená pěti-transformátorová oblast 110kV VEL-VY-CHO-BA“. Teoretickým postupem výpočtu zkratových poměrů se zabývá kapitola 3.3.

Název	Uzlová oblast	$I_{k''3f}$	$I_{k''3fmin}$	$S_{k''3fmin}$	$S_{k''3f}$	$I_{k''1f}$	$S_{k''1f}$
		[kA]	[kA]	[MVA]	[MVA]	[kA]	[MVA]
Děčín Želenice	Babylon	8,36	5,01	0,954	1592	8,24	1570

Tab. 4.1 Zkratové poměry sítě 110kV

4.2 Zkratový výkon sítě 35kV T₁₀₁.



Obr. 4.1 Náhradní schéma řešené soustavy

Pro určení zkratového výkonu sítě 35kV na přípojnici, musíme nejprve určit reaktanci trojvintňového transformátoru a nadřazené sítě 110kV.

V _{inutí}	12	13	23
u _k [%]	10,9	18	4,3
S _n [MVA]	40	40	12,5

Tab. 4.2 Štítkové údaje T101

$$X_{13} = \frac{u_{k13}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{n13}} = 0,18 \cdot \frac{35000^2}{40 \cdot 10^6} = 5,512 [\Omega] \quad (3.1)$$

$$X_{12} = \frac{u_{k12}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{n12}} = 0,109 \cdot \frac{35000^2}{40 \times 10^6} = 3,338 [\Omega] \quad (3.1)$$

$$X_{23} = \frac{u_{k23}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{n23}} = 0,043 \cdot \frac{35000^2}{12,5 \cdot 10^6} = 4,214 [\Omega] \quad (3.1)$$

V tr. Želenice jsou v provozu trojvintňové transformátory s nevyvedeným terciálním vinutím, proto:

$$X_1 = \frac{X_{13} + X_{12} - X_{23}}{2} = \frac{5,512 + 3,338 - 4,214}{2} = 2,318 [\Omega] \quad (3.1)$$

$$X_2 = \frac{X_{12} + X_{23} - X_{13}}{2} = \frac{3,338 + 4,214 - 5,512}{2} = 1,02 [\Omega] \quad (3.1)$$

$$X_{T101} = X_1 + X_2 = 2,318 + 1,02 = 3,338 [\Omega] \quad (3.1)$$

Dále spočítáme maximální reaktanci nadřazené soustavy 110kV:

$$X_{ES} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k3f}''} \cdot \left(\frac{1}{p}\right)^2 = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 8,36 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{35}{110}\right)^2 = 0,846 [\Omega] \quad (3.1)$$

Poté určíme celkovou maximální reaktanci a z ní následně maximální zkratové poměry soustavy 35kV za T₁₀₁:

$$X_c = X_{ES} + X_{T101} = 0,846 + 3,338 = 4,184 [\Omega] \quad (3.1)$$

$$I_{K3f}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |X_c|} = \frac{1,1 \cdot 35000}{\sqrt{3} \cdot 4,184} = 5,31 [\text{kA}] \quad (3.1)$$

$$S_k'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k'' = \sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3 \cdot 5,31 \cdot 10^3 = 321,9 [\text{MVA}] \quad (3.3)$$

Minimální reaktanci nadřazené soustavy 110kV:

$$X_{ESmin} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k3fmin}''} \cdot \left(\frac{1}{p}\right)^2 = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 5,01 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{35}{110}\right)^2 = 1,412 [\Omega] \quad (3.1)$$

Minimální reaktanci a z ní následně minimální zkratové poměry soustavy 35kV za T₁₀₁:

$$X_c = X_{ESmin} + X_{T101} = 1,412 + 3,338 = 4,75 [\Omega] \quad (3.1)$$

$$I_{K3fmin}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |X_{cmin}|} = \frac{1,1 \cdot 35000}{\sqrt{3} \cdot 4,75} = 4,680 [\text{kA}] \quad (3.1)$$

$$S_{kmin}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k'' = \sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3 \cdot 4,68 \cdot 10^3 = 283,7 [\text{MVA}] \quad (3.3)$$

T ₁₀₁	Ručně	Bizon
I _{k3f} [kA]	5,31	5,27
S _k [MVA]	321,9	320
I _{k3fmin} [kA]	4,68	4,65
S _{kmin} [MVA]	283,7	280

Tab. 4.3 Zkratové poměry za T101

4.3 Zkratový výkon sítě 35kV T₁₀₂.

Pro zjednodušení budeme T₁₀₂ počítat jako dvouvinutový transformátor, zapojení s nevyvedeným terciálním vinutím nemá vliv na výpočet zkratových poměrů za transformátorem.

Vinutí	12	13	23
uk [%]	10,8	18	4,3
Sn [MVA]	25	25	8

Tab. 4.4 Štítkové údaje T102

$$X_{12} = X_{T102} = \frac{u_{k12}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{n12}} = 0,108 \cdot \frac{35000^2}{25 \times 10^6} = 5,292 [\Omega] \quad (3.1)$$

Poté určíme celkovou maximální reaktanci a z ní následně maximální zkratový proud soustavy 35kV za T₁₀₂.

$$X_c = X_{ES} + X_{T101} = 0,846 + 5,292 = 6,138 [\Omega] \quad (3.1)$$

$$I_{K3f}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |X_c|} = \frac{1,1 \cdot 35000}{\sqrt{3} \cdot 6,138} = 3,62 [\text{kA}] \quad (3.1)$$

$$S_k'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_K'' = \sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3 \cdot 3,62 \cdot 10^3 = 219,45 [\text{MVA}] \quad (3.3)$$

Minimální reaktance a zkratový proud:

$$X_{cmin} = X_{ESmin} + X_{T101} = 1,412 + 5,292 = 6,704 [\Omega] \quad (3.1)$$

$$I_{K3fmin}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |X_{cmin}|} = \frac{1,1 \cdot 35000}{\sqrt{3} \cdot 6,704} = 3,32 [\text{kA}] \quad (3.1)$$

$$S_{kmin}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{K3fmin}'' = \sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3 \cdot 3,32 \cdot 10^3 = 201,26 [\text{MVA}] \quad (3.3)$$

T ₁₀₁	
I _{k3f} [kA]	3,62
S _k [MVA]	219,45
I _{k3fmin} [kA]	3,32
S _{k3fmin} [MVA]	201,26

Tab. 4.5 Zkratové poměry za T102

4.4 Zkratový výkon sítě 22kV T₁₀₃.

Vinutí	12	13	23
uk [%]	11	18	4,3
Sn [MVA]	25	25	8

Tab. 4.6 Štítkové údaje T103

$$X_{12} = X_{T103} = \frac{u_{k12}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{n12}} = 0,11 \cdot \frac{22000^2}{25 \cdot 10^6} = 2,13 [\Omega] \quad (3.1)$$

$$X_{ES} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k110}''} \cdot \left(\frac{1}{p}\right)^2 = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 8,36 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{22}{110}\right)^2 = 0,334 [\Omega] \quad (3.1)$$

$$X_{ESmin} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k110min}''} \cdot \left(\frac{1}{p}\right)^2 = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 5,01 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{22}{110}\right)^2 = 0,558 [\Omega] \quad (3.1)$$

Poté určíme celkovou reaktanci a z ní následně maximální zkratový proud a výkon soustavy 22kV za T₁₀₃.

$$X_c = X_{ES} + X_{T101} = 0,334 + 2,13 = 2,464 [\Omega] \quad (3.1)$$

$$I_{K3f}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |X_c|} = \frac{1,1 \cdot 22000}{\sqrt{3} \cdot 2,464} = 5,67 [\text{kA}] \quad (3.1)$$

$$S_k'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_K'' = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 3,62 \cdot 10^3 = 216 [\text{MVA}] \quad (3.3)$$

Minimální zkratový proud a výkon:

$$X_c = X_{ES} + X_{T101} = 0,558 + 2,13 = 2,688 [\Omega] \quad (3.1)$$

$$I_{k3fmin}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |X_{cmin}|} = \frac{1,1 \cdot 22000}{\sqrt{3} \cdot 2,688} = 5,20 [\text{kA}] \quad (3.1)$$

$$S_{kmin}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k3fmin}'' = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 5,20 \cdot 10^3 = 198 [\text{MVA}] \quad (3.3)$$

T ₁₀₁	
I _{k3f} [kA]	5,67
S _k [MVA]	216
I _{k3fmin} [kA]	5,20
S _{kmin} [MVA]	198

Tab. 4.7 Zkratové poměry za T103

4.5 Zkratový výkon sítě 10kV T₁₀₄.

Vinutí	12	13	23
uk [%]	12	18	4,3
Sn [MVA]	25	25	8

Tab. 4.8 Štítkové údaje T104

$$X_{12} = X_{T102} = \frac{u_{k12}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{n12}} = 0,12 \cdot \frac{10000^2}{25 \times 10^6} = 0,48 \text{ } [\Omega] \quad (3.1)$$

$$X_{ES} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k110}''} \cdot \left(\frac{1}{p}\right)^2 = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 8,36 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{10}{110}\right)^2 = 0,069 \text{ } [\Omega] \quad (3.1)$$

$$X_{ESmin} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k110min}''} \cdot \left(\frac{1}{p}\right)^2 = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 5,01 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{10}{110}\right)^2 = 0,115 \text{ } [\Omega] \quad (3.1)$$

Poté určíme celkovou maximální reaktanci a z ní následně maximální zkratový proud soustavy 10kV za T₁₀₄.

$$X_c = X_{ES} + X_{T101} = 0,069 + 0,48 = 0,549 \text{ } [\Omega] \quad (3.1)$$

$$I_{K3f}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |X_c|} = \frac{1,1 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 0,549} = 11,57 \text{ } [\text{kA}] \quad (3.1)$$

$$S_k'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k'' = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 11,57 \cdot 10^3 = 200,40 \text{ } [\text{MVA}] \quad (3.3)$$

Minimální zkratový proud a výkon:

$$X_{cmin} = X_{ESmin} + X_{T101} = 0,115 + 0,48 = 0,595 \text{ } [\Omega] \quad (3.1)$$

$$I_{k3fmin}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |X_{cmin}|} = \frac{1,1 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 0,595} = 10,67 \text{ } [\text{kA}] \quad (3.1)$$

$$S_k'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k3fmin}'' = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 10,67 \cdot 10^3 = 184,81 \text{ } [\text{MVA}] \quad (3.3)$$

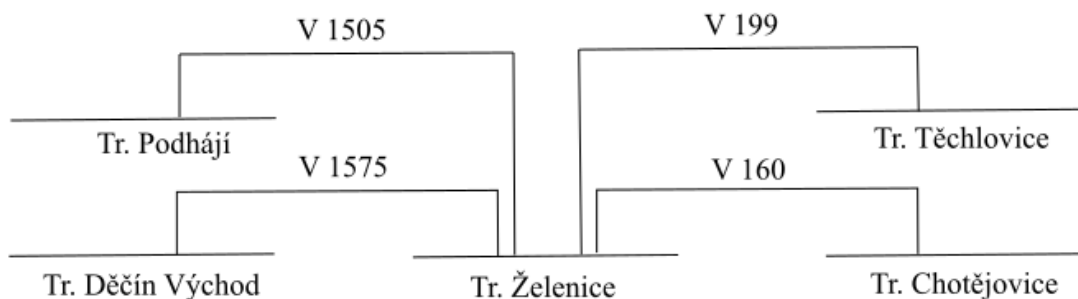
T ₁₀₁	
I _{k3f} [kA]	11,57
S _{k3f} [MVA]	200,40
I _{k3fmin} [kA]	10,67
S _{k3fmin} [MVA]	184,81

Tab. 4.9 Zkratové poměry za T104

5. Návrh osazení a výpočet nastavení ochran rozvodny Děčín-Želenice 110kV/35, 22, 10kV

5.1 Výpočet nastavení distančních ochran

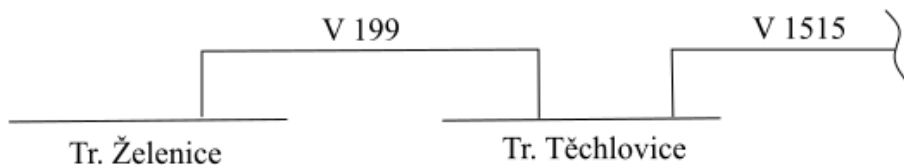
Tato kapitola se zabývá nastavením distanční ochrany pro venkovní vedení 110kV. Jelikož je cílem práce nastavit ochrany pouze pro tr. Želenice, použijeme k výpočtu zadané nastavení navazujících distančních ochran v kruhu. Vedení 110kV příslušících tr. Želenice tvoří čtyři linky (V160 V199 V1075 a V1505) viz obrázek 5.1.



Obr. 5.1 Vedení 110 kV příslušící tr. Želenice

Teoretický postup výpočtu je uveden v kapitole 2.1.1 Distanční ochrana. Ve starých výpočtech byla snaha dodržet při nastavování distančních ochran velikost odporu vyšší než velikost reaktance minimálně o 10Ω , podle nových zkušeností se dnes připočítává 20Ω . Při výpočtu R ve všech zónách je tedy vždy připočítáno 20Ω představujících odpor oblouku. Jako vzorový výpočet distanční ochrany použijeme trasu tr. Želenice – tr. Těchlovice a také vzhledem k odlišnosti výpočtu trasy tr. Želenice – tr. Chotějovice. Výpočty ostatních tras budou uvedeny tabulkově, vypočítány pomocí programu Excel.

5.1.1 Tr. Želenice – tr. Těchlovice



Obr. 5.2 Vedení tr. Želenice- tr. Těchlovice

Želenice - Těchlovice	V199					
Délka [Km]	X [Ω]	R[Ω]	R ₀ [Ω]	X ₀ [Ω]	R ₁ [Ω]	X ₁ [Ω]
8,66	3,45	1,35	0,242	1,09	0,156	0,399

Tab. 5.1 Parametry vedení V199

Těchlovice V1515	R[Ω]	X[Ω]	t[s]
1. zóna	12,30	5,87	0,0
2. zóna	19,36	11,16	0,3
3. zóna	27,99	20,43	1,0
OZ	15,24	8,29	1+3 (S)

Tab. 5.2 Nastavení distanční ochrany Těchlovice V1515

První zóna, čas působení 0 vteřiny:

$$X_1 = 0,85 \cdot X = 0,85 \cdot 3,45 = 2,94 \text{ [}\Omega\text{]} \quad (2.3)$$

$$R_1 = 0,85 \cdot R = 0,85 \cdot 1,35 + 20 = 21,15 \text{ [}\Omega\text{]} \quad (2.3)$$

OZ:

$$X_{OZ} = 1,15 \cdot X = 1,15 \cdot 3,45 = 3,97 \text{ [}\Omega\text{]} \quad (2.3)$$

$$R_{OZ} = 1,15 \cdot R = 1,15 \cdot 1,35 + 20 = 21,55 \text{ [}\Omega\text{]} \quad (2.3)$$

Při výpočtu druhé zóny musíme zohlednit starý přípočet 10Ω k velikosti odporu, čas působení 0,3 vteřiny:

$$X_2 = 0,85 \cdot (X + X_{1. V1515}) = 0,85 \cdot (3,45 + 5,87) = 7,93 \text{ [}\Omega\text{]} \quad (2.5)$$

$$R_2 = 0,85 \cdot (R + R_{1. V1515}) = 0,85 \cdot (1,35 + 12,3 - 10) + 20 = 23,10 \text{ [}\Omega\text{]} \quad (2.3)$$

Podmínka:

$$X_2 \geq X \cdot 1,15 \rightarrow 7,93 \geq 3,45 \cdot 1,15 \rightarrow 7,93 \geq 3,97 \quad (2.5)$$

Při výpočtu třetí zóny musíme zohlednit starý přípočet 15Ω k velikosti odporu. Pokud podmínka nevyhovuje, lze za určitých okolností uvažovat chránění až do 90% délky vedení. Pro nastavení 3. stupně ochrany tr. Želenice – tr. Těchlovice je tento postup žádoucí:

$$X_3 = 0,85 \cdot (X + X_{2. V1515}) = 0,9 \cdot (3,45 + 11,16) = 12,42 [\Omega] \quad (2.5)$$

$$R_3 = 0,85 \cdot (R + R_{2. V1515}) = 0,9 \cdot (1,35 + 19,36 - 15) + 20 = 24,85[\Omega] \quad (2.3)$$

Při výpočtu podmínky pro třetí zónu musíme zohlednit celkovou reaktanci vedení $V_{1515} = 6,91\Omega$:

$$X_3 \geq (X + X_{c V1515}) \cdot 1,15 \rightarrow 12,42 \geq (3,45 + 6,91) \cdot 1,15 \rightarrow 12,42 \geq 11,92 \quad (2.5)$$

Poměr zemní reaktance a poměr zemního odporu:

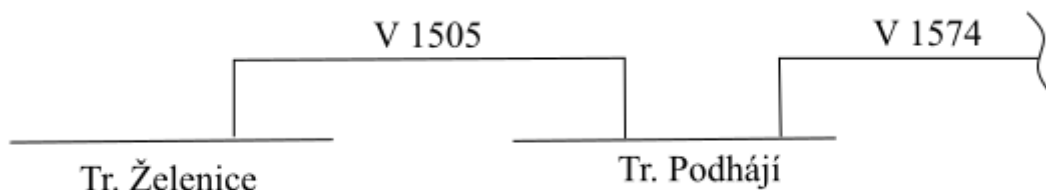
$$\frac{X_E}{X_L} = \frac{1}{3} \cdot \frac{X_0}{X_1} - 1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{1,09}{0,399} - 1 = 0,578 [-] \quad (2.5)$$

$$\frac{R_E}{R_L} = \frac{1}{3} \cdot \frac{R_0}{R_1} - 1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{0,242}{0,156} - 1 = 0,184 [-] \quad (2.5)$$

Želenice - Těchlovice		V199	
	délka Km	X	R
	8,66	3,45	1,35
X1=	2,94	0 sec	
R1=	21,15		
Xoz=	3,97	1+3(S)	
Roz=	21,55		
X2=	7,93	0,3 sec	
R2=	23,10		
X3=	13,15	0,5 sec	
R3=	25,14		
R=50	X=100	4,6 sec	
R=50	X=20	6 sec	
oz pauza	0,5sec 3P 0,5sec 1P		
Xkm=	0,40		
Xe/XL=	0,578		
Re/RL=	0,184		

Tab. 5.3 Nastavení distanční ochrany tr. Želenice- tr. Těchlovice

5.1.2 Tr. Želenice – tr. Podhájí



Obr. 5.3 Vedení tr. Želenice – tr. Podhájí

Želenice - Podhájí	V1505					
Délka [Km]	X [Ω]	R[Ω]	R ₀ [Ω]	X ₀ [Ω]	R ₁ [Ω]	X ₁ [Ω]
41,29	16,47	6,44	0,290	1,084	0,156	0,399

Tab. 5.4 Parametry vedení V1505

Těchlovice V1574	R[Ω]	X[Ω]	t[s]
1. zóna	20,98	2,50	0,0
2. zóna	26,45	16,47	0,3
3. zóna	29,19	23,45	1,0
OZ	11,32	3,37	1+3 (S)

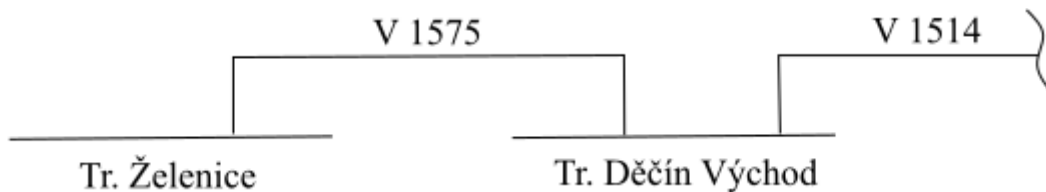
Tab. 5.5 Nastavení distanční ochrany Těchlovice V1574

Želenice - Podhájí		V1505	
	délka Km	X	R
	41,29	16,47	6,44
X1=	14,00	0 sec	
R1=	25,47		
Xoz=	18,94	1+3	
Roz=	27,41		
X2=	28,00	0,5 sec	
R2=	30,96		
X3=	33,93	1,2 sec	
R3=	33,29		
R=50	X=100	2,1 sec	
R=50	X=20	6 sec	
oz pauza	0,5sec 1P		
Xkm=	0,40		
Xe/XL=	0,572		
Re/RL=	0,286		

Tab. 5.6 Nastavení distanční ochrany tr. Želenice- tr. Podhájí

5.1.3 Tr. Želenice – tr. Děčín Východ

Tr. Děčín Východ je vybavena starším typem analogových distančních ochran, časové odstupňování bude tedy minimálně o 0,3 vteřiny.



Obr. 5.4 Vedení tr. Želenice – tr. Děčín Východ

Želenice - Podhájí	V1575					
Délka [Km]	X [Ω]	R[Ω]	R₀[Ω]	X₀[Ω]	R₁[Ω]	X₁[Ω]
9,09	3,63	1,40	0,288	1,085	0,022	0,059

Tab. 5.7 Parametry vedení V1575

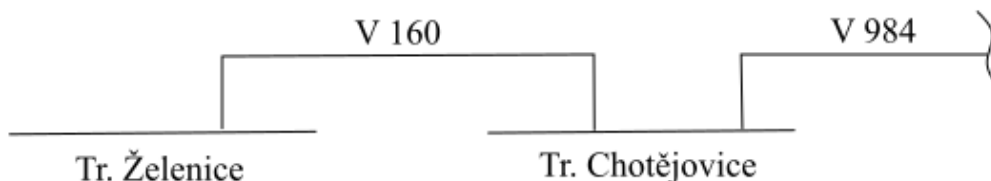
Těchlovice V1514	R[Ω]	X[Ω]	t[s]
1. zóna	2,98	6,89	0,0
2. zóna	5,83	13,5	0,3
3. zóna	8,85	20,49	1,0
OZ	4,02	9,31	1+3 (S)

Tab. 5.8 Nastavení distanční ochrany Těchlovice V1514

Želenice- Východ		V1575	
	délka Km	X	R
	9,09	3,63	1,40
X1=	3,08	0 sec	
R1=	21,19		
Xoz=	4,17	1+3	
Roz=	21,61		
X2=	8,94	0,3 sec	
R2=	23,73		
X3=	14,56	0,6 sec	
R3=	26,15		
R=50	X=100	2,4	
R=50	X=20	6 sec	
oz pauza	0,5sec 1P		
Xkm=	0,40		
Xe/XL=	5,750		
Re/RL=	4,021		

Tab. 5.9 Nastavení distanční ochrany tr. Želenice- tr. Východ

5.1.4 Tr. Želenice – tr. Chotějovice



Obr. 5.5 Vedení tr. Želenice – tr. Děčín Východ

Želenice - Chotějovice	V160					
Délka [Km]	X [Ω]	R[Ω]	R₀[Ω]	X₀[Ω]	R₁[Ω]	X₁[Ω]
43,50	17,35	6,18	0,278	1,087	0,142	0,399

Tab. 5.10 Parametry vedení V160

Chotějovice V984	R[Ω]	X[Ω]	t[s]
1. zóna	20,10	0,61	0,00
2. zóna	10,90	2,31	0,50
3. zóna	17,35	6,02	1,50
OZ	51,00	9,21	1+3 (S)

Tab. 5.11 Nastavení distanční ochrany Chotějovice V984

Při výpočtech trasy tr. Želenice – tr. Chotějovice došlo k drobným změnám výpočtů. Při výpočtu druhé zóny nemohla být splněna podmínka o chránění předešlého úseku v 2. zóně. To znamená, že ve výpočtech X_2 a R_2 byly použity hodnoty $X_{2, v984}$ a $R_{2, v984}$. Stejně tak musíme použít čas reakce ochrany minimálně o 0,2 vteřiny vyšší než 2. zóny ochrany vedení V984. Další změnou je, že u uzlové rozvodny s velkým zkratovým výkonem Chotějovice, uvažujeme při nastavování distančních ochran 3x větší impedanci druhé a třetí zóny vedení V160 podle vztahu (2.7) v kapitole 2.1.1.

První zóna, čas působení 0 vteřiny:

$$X_1 = 0,85 \cdot X = 0,85 \cdot 17,35 = 14,75 [\Omega] \quad (2.3)$$

$$R_1 = 0,85 \cdot R = 0,85 \cdot 6,18 + 20 = 25,25[\Omega] \quad (2.3)$$

OZ:

$$X_{OZ} = 1,15 \cdot X = 1,15 \cdot 17,35 = 19,95 [\Omega] \quad (2.3)$$

$$R_{OZ} = 1,15 \cdot R = 1,15 \cdot 3,45 + 20 = 27,11 [\Omega] \quad (2.3)$$

Při výpočtu druhé zóny musíme zohlednit starý přípočet 10 Ω k velikosti odporu. Zároveň musíme respektovat vysoký zkratový výkon tr. Chotějovice. Čas působení ochrany 0,7 vteřiny:

$$X_2 = 0,85 \cdot (X + X_{2, V984} \cdot 3) = 0,85 \cdot (17,35 + 2,31) = 20,64 [\Omega] \quad (2.5)$$

$$R_2 = 0,85 \cdot (R + (R_{2, V984} - 10) \cdot 3) = 0,85 \cdot (6,18 + 10,9 - 10) + 20 = 27,55[\Omega] \quad (2.3)$$

Podmínka:

$$X_2 \geq X \cdot 1,15 \rightarrow 20,64 \geq 17,35 \cdot 1,15 \rightarrow 20,64 \geq 19,95 \quad (2.5)$$

Při výpočtu třetí zóny musíme zohlednit starý přípočet 15 Ω k velikosti odporu. Stejně jako u druhého stupně musíme respektovat vysoký zkratový výkon tr. Chotějovice:

$$X_3 = 0,85 \cdot (X + X_{3, V984} \cdot 3) = 0,85 \cdot (17,35 + 6,02 \cdot 3) = 30,1 [\Omega] \quad (2.5)$$

$$R_3 = 0,85 \cdot (R + R_{3, V984}) = 0,85 \cdot (6,18 + 17,35 - 15) + 20 = 31,24[\Omega] \quad (2.3)$$

Při výpočtu podmínky pro třetí zónu musíme zohlednit celkovou reaktanci vedení $V_{984} = 0,71 \Omega$:

$$X_3 \geq (X + X_{c, V984}) \cdot 1,15 \rightarrow 30,1 \geq (17,35 + 0,71) \cdot 1,15 \rightarrow 30,1 \geq 20,77 \quad (2.5)$$

Poměr zemní reaktance a poměr zemního odporu:

$$\frac{X_E}{X_L} = \frac{1}{3} \cdot \frac{X_0}{X_1} - 1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{1,087}{0,399} - 1 = 0,575 [-] \quad (2.5)$$

$$\frac{R_E}{R_L} = \frac{1}{3} \cdot \frac{R_0}{R_1} - 1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{0,278}{0,142} - 1 = 0,319 [-] \quad (2.5)$$

Želenice-Chotějovice		V160	
	délka Km	X	R
	43,5	17,35	6,18
X1=	14,75	0 sec	
R1=	25,25		
Xoz=	19,95	1+3(S)	
Roz=	27,11		
X2=	20,64	0,7 sec	
R2=	27,55		
X3=	30,10	1,7 sec	
R3=	31,24		
R=50	X=100	3,4 sec	
R=50	X=20	6 sec	
oz pauza	0,7sec 3P		
Xkm=	1,91		
Xe/XL=	0,575		
Re/RL=	0,319		

Tab. 5.12 Nastavení distanční ochrany tr. Želenice- tr. Chotějovice

5.2 Výpočet nastavení ochran 35, 22, 10 kV

Nastavení ochran pro hladiny VN je k nalezení v přílohách A1 až A10. Teoretické předpoklady pro výpočet jsou uvedeny v kapitole (2.3). Rozmístění jednotlivých kobek lze vyčíst z přílohy B pro 35kV, přílohy C pro 22kV a přílohy D pro 10kV.

Závěr

Tr. Želenice je netypická z hlediska osazených ochran. Tento stav vznikl očekáváním unifikace z hladiny 10kV na hladinu 22kV. Pro zlepšení ochrání v tr. Želenice by bylo vhodné provést výměnu ochran a proudových měničů z 5A na 1A a doplnění součtových proudových měničů na napěťových hladinách 22 a 10kV. Při výměně proudového měniče z 5A na 1A se sníží nároky na měřicí cívky ochrany i použitou kabeláž. Navrhují použít stejnou řadu ochran osazených na hladině 35 a 110kV, vzhledem k zachování kompatibility jak náhradních dílů, tak komunikace ochran do řídicího systému. Nové digitální ochrany nabízí:

- možnost nastavení dlouhého OZ, což zlepší eliminaci přechodných poruch
- vyšší proudový rozsah ochran
- možnost nastavit časově závislou charakteristiku
- možnost vyšší přesnosti zemních ochran jak použitím součtového měniče, tak zvýšenou variabilitou nastavení zemních ochran
- lepší vyhodnocování poruch díky poruchovému záznamu
- zpřesnění časového strojku a možnost zkrácení času na nadproudové ochraně transformátoru (popsáno v kapitole 1.2)
- použití komunikace pro různé blokovací podmínky a automatiky, například LOR
- rozšířezou možnost signalizace různých stavů do řídicího systému

Při modernizaci na všech hladinách VN není nutné osazovat podpěťovou ochranu současně osazenou v kobce č. 1; 2; 12 a 24. Její primární funce je pouze blokace nadproudové ochrany příslušného transformátoru při jeho úmyslném dlouhodobém přetěžování.

Dále navrhuji na hladině 110kV modernizaci rozvodny Děčín Východ. Při použití novějších digitálních distančních a nadproudových ochran bude možné zkrátit reakční dobu ochran ve smyčce v druhé, třetí i čtvrté zóně minimálně o 0,1 vteřiny.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Grym, R., Hochman, P., Machoň, J., Berman, J., Cichoň, B.: Chránění II. Iris, 2004.
- [2] TESAŘOVÁ, Miloslava. Elektrické ochrany a zabezpečovací systémy [přednáška].
- [3] PNE 33 3051: Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
- [4] Digitální rozdílová ochrana 7UT612 – manuál. Siemens AG.
- [5] Materiály ČEZ distribuce, a.s..
- [6] Chmelík, K., Toman, P., Hanuš, R., Grym, R., Machoň, J., Hochman, P.: Chránění III. Iris, 2005.

Přílohy

Příloha A – Nastavení VN ochran

Příloha B – Část rozvodny 35kV

Příloha C – Část rozvodny 22kV

Příloha D – Část rozvodny 10kV

Vývod	Číslo kobky	kV	MTP (A) MTN (kV)		Nast. I (A) Nast. U (kV)	t (s)	Vypínač VVN - VN	Ochrana
T 101 - 40 MVA	1 / 1	110 / 35	200/1-600/1	Idiff>/ Idiff>>/Un	108 / 330	0,0	110 + 35	7UT612
	1	110	200/1/1	I>	230,9	12,0		AT 12 X1
	1	110	200/1/1	I>>	272,9	2,6		AT 31 X1
	1	35	600/1/1	I>>	3000,0	0,5	35	AT 31 X1
		35	600/1/1	I>	780,0	2,4	35	I>
		35	600/1/1	I>>	3000,0	0,5	35	I>>
			300/1	ks.t.	240,0	0,0	110 + 35	A15
	1	35	35/ 0,1 kV	U<	70%			U<
	1	35	600/1/1	I>	780,0	2,4	35	I>
	1	35	600/1/1	I>>	3000,0	0,5	35	I>>
	1	35	600/1/1	I>lor	780,0	0,2	35	

Příloha A1 – nastavení VN ochran.

Vývod	Číslo kobky	kV	MTP (A) MTN (kV)		Nast. I (A) Nast. U (kV)	t (s)	Vypínač VVN - VN	Ochrana
T 102 - 25 MVA	3 / 2	110 / 35	200/1-600/1	Idiff>/ Idiff>>/Un	67 / 206	0,0	110 + 35	7UT612
	3	110	200/1/1	I>	144,3	12,0	110 + 35	AT 12 X1
	3	110	200/1/1	I>>	170,6	2,6		AT 31 X1
	2	35	600/1/1	I>>	3000,0	0,5	35	AT 31 X1
	2	35	600/1/1	I>	540,0	2,4	35	I>
	2	35	600/1/1	I>>	3000,0	0,5	35	I>>
			300/1	ks.t.	240,0	0,0	110 + 35	A15
	2	35	35/ 0,1 kV	U<	70%			U<
	2	35	600/1/1	I>	540,0	2,4	35	I>
	2	35	600/1/1	I>>	3000,0	0,5	35	I>>
	2	35	600/1/1	I>lor	540,0	0,2	35	
Benešov	3	35	400/1	Is>	290,0	0,9	35	7SJ645 I>
V				Is>>	1920,0	0,3	35	
				I>lor	290,0	0,2	35	
			10/0,08	IsE>	Io=5A, Uo=30% Un			
				oz	Dlouhý OZ	0,9/0,3/20		

Příloha A2 – nastavení VN ochran.

Vývod	Číslo kobky	kV	MTP (A) MTN (kV)		Nast. I (A) Nast. U (kV)	t (s)	Vypínač VVN - VN	Ochrana
Staré Město	4	35	400/1	Is>	360,0	2,0	35	7SJ645 I>
V				Is>>	1600,0	0,3	35	
				I>lor	360,0	0,2	35	
			10/0,08	IsE>	Io=5A, Uo=30%Un			
				oz	dlouhý OZ	2/0,3/20	35	
Chepos	5	35	400/1	Is>	360,0	2,0	35	7SJ645 I>
K				Is>>	1920,0	0,0	35	
				I>lor	360,0	0,2	35	
			10/0,08	IsE>	Io=5A, Uo=30%Un			
				oz	dlouhý OZ	2/0,3/20	35	
Kovošrot	6	35	400/1	Is>	360,0	2,0	35	7SJ645 I>
V				Is>>	1920,0	0,0	35	
				I>lor	360,0	0,2	35	
			10/0,08	IsE>	Io=5A, Uo=30%Un			
				oz	dlouhý OZ	2/0,3/20	35	

Příloha A3 – nastavení VN ochran.

Vývod	Číslo kobyky	kV	MTP (A) MTN (kV)		Nast. I (A) Nast. U (kV)	t (s)	Vypínač VVN - VN	Ochrana
SSB	7	35	750/1	I>	720	2,2	35	7SJ645 I>
				I>>			35	
Průmyslový Okruh	8	35	400/1	Is>	360,0	2,0	35	7SJ645 I>
V				Is>>	1380,0	0,3	35	
				I>lor	360,0	0,2	35	
			10/0,08	IsE>	Io=5A, Uo=30% Un			
				oz	dlouhý OZ	2/0,3/20	35	
Rezerva	9	35	400/1	Is>	360,0	0,5	35	7SJ645 I>
				Is>>	1920,0	0,0	35	
				I>lor	360,0	0,2	35	
			10/0,08	IsE>	Io=5A, Uo=30% Un			
				oz	dlouhý OZ	0,5/0,3/20	35	
Tvs 1	10	35	400/1	I>	400,0	0,5	35	7SJ645 I>
				I>>	2000,0	0,0	35	

Příloha A4 – nastavení VN ochran.

Vývod	Číslo koby	kV	MTP (A) MTN (kV)		Nast. I (A) Nast. U (kV)	t (s)	Vypínač VVN - VN	Ochrana
Tvs 2	11	35	400/1	I>	400,0	0,5	35	7SJ645 I>
				I>>	2000,0	0,0	35	
Vlastní spotřeba B	13	22	100 / 5 / 5	I>	64,0	0,5	22	AT 31 X
		22	22 / 0,1 kV	U>	30%Un	10		GV 12
Přípeř	17	22	300 / 1	Is>	360,0	0,5	22	7SJ645
		22	10 / 0,08	IsE	Io=5A, Uo=30%Un		22	
K		22	300 / 1	Is>>	2400,0	0,0	22	
				I>lor	360,0	0,3	22	
				oz		0,2/0,3		
ŽOS	18	22	300 / 5 / 5	I>	360,0	1,5	22	AT 31 X
K		22	300 / 5 / 5	I>>	2400,0	0,0	22	A 32
		22	300 / 5 / 5	IE	0,0			GSC 11
				oz		0,0/0,3		

Příloha A5 – nastavení VN ochran.

Vývod	Číslo kobky	kV	MTP (A) MTN (kV)		Nast. I (A) Nast. U (kV)	t (s)	Vypínač VVN - VN	Ochrana
Měšín	19	22	300 / 5 / 5	I>	360,0	1,5	22	AT 31 X
K		22	300 / 5 / 5	I>>	2400,0	0,0	22	A 32
		22	300 / 5 / 5	IE	0,0			GSC 11
		22	-	oz		0,0/0,3	22	RPOZI
Chvojno	20	22	300 / 5 / 5	I>	360,0	1,6	22	SPAA 341C
V		22	300 / 5 / 5	I>>	2190,0	0,2	22	SPAA 341C
		22	300 / 5 / 5	IE	60 V - 80 mA	5,0		SPAA 341C
		22	-	oz	dlouhý OZ	1,6/0,3/20	22	SPAA 341C
Dobkovice	21	22	300 / 5 / 5	I>	360,0	2,0	22	SPAA 341C
V		22	300 / 5 / 5	I>>	2190,0	0,0	22	SPAA 341C
		22	300 / 5 / 5	IE	60 V - 80 mA	5,0		SPAA 341C
		22	-	oz		2/0,3/20	22	SPAA 341C
Povrly	22	22	300 / 5 / 5	I>	360,0	2,0	22	SPAA 341C
V		22	300 / 5 / 5	I>>	2190,0	0,0	22	SPAA 341C
		22	300 / 5 / 5	IE	60 V - 80 mA	5,0		SPAA 341C
		22	-	oz		2/0,3/20	22	SPAA 341C

Příloha A6 – nastavení VN ochran.

Vývod	Číslo kobky	kV	MTP (A) MTN (kV)		Nast. I (A) Nast. U (kV)	t (s)	Vypínač VVN - VN	Ochrana
T 103 - 25 MVA	5 / 24	110 / 22	150/1-600/5	Idiff>/ Idiff>>/Un	0,5 / 9,1 / 107,2	0,0	110 + 22	7UT612
	5	110	150/1/1	I>	183,0	2,3	110 + 22	AT 31 X1
	5	110	150/1/1	I>	157,5	12,0		AT 12 X1
	24	22	600/5/5	I>>	3072,0	0,5	22	3 x A15 + T 11X
	24	22	600/5/5	I>	774,0	2,3	22	SPAJ
	24	22	600/5/5	I>>	3496,0	0,5	22	SPAJ
	24	22	22 / 0,1 kV	U<	70%			3 x V15
			300/1	ks.t.	240,0	0,0	110 + 22	A15
Vlastní spotřeba A	1	10	100 / 5 / 5	I>	64,0	0,5	10	AT 31 X
		10	100 / 5 / 5		80,0	0,5	10	A 15
Měření A	2	10	10 / 0,1 kV	U<				V 32 - 0
		10	10 / 0,1 kV	U<	30%Un	10		GV 12
SSB	3	10	1250 / 5 / 5	I>	1250,0	0,5	10	AT 31 X

Příloha A7 – nastavení VN ochran.

Vývod	Číslo kobky	kV	MTP (A) MTN (kV)		Nast. I (A) Nast. U (kV)	t (s)	Vypínač VVN - VN	Ochrana
Kogenerace Želenice	6	10	300 / 5 / 5	I>	360,0	1,6	10	AT 31 X
K		10	300 / 5 / 5	I>>	2580,0	0,5	10	A 32
		10	300 / 5 / 5	IE	120,0	1,6	10	A 15
				oz		0,0/0,3		
SPŠ	7	10	300 / 5 / 5	I>	300,0	0,5	10	AT 31 X
K		10	300 / 5 / 5	I>>	2400,0	0,0	10	A 32
		10	300 / 5 / 5	IE	120,0	0,5	10	A 15
		10	-	oz		0,0/0,3	10	RPOZI
K		10	300 / 5 / 5	I>>	2400,0	0,0	10	A 32
		10	300 / 5 / 5	IE	120,0	0,5	10	A 15
		10	-	oz		0,0/0,3	10	RPOZI
Bynov 2	9	10	300 / 5 / 5	I>	360,0	1,6	10	AT 31 X
V		10	300 / 5 / 5	I>>	2580,0	0,5	10	A 32
		10	300 / 5 / 5	IE	120,0	1,6	10	A 15
				oz		0,0/0,3		

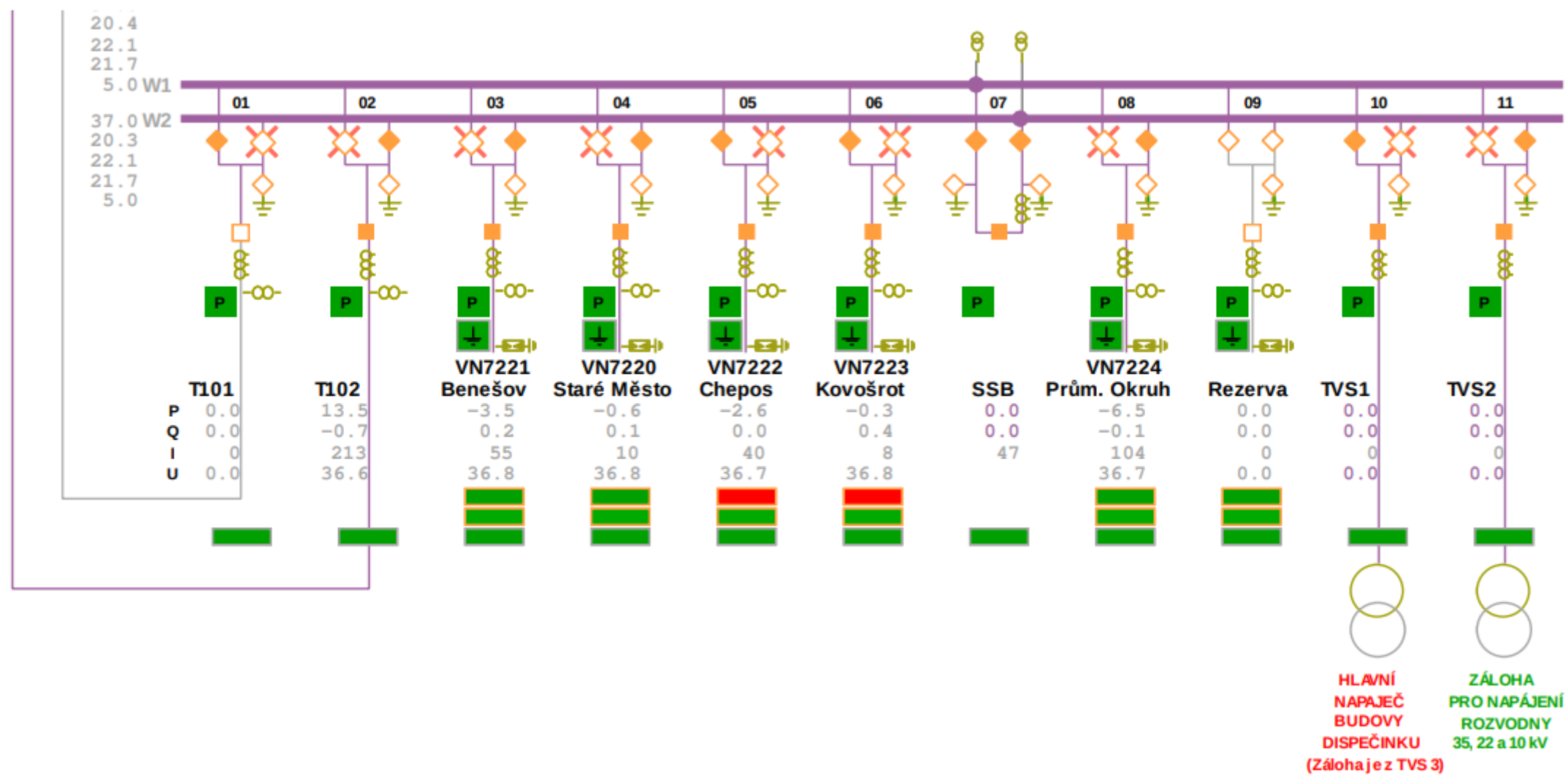
Příloha A8 – nastavení VN ochran.

Vývod	Číslo kobky	kV	MTP (A) MTN (kV)		Nast. I (A) Nast. U (kV)	t (s)	Vypínač VVN - VN	Ochrana
Bynov 1	10	10	300 / 5 / 5	I>	360,0	1,6	10	AT 31 X
K		10	300 / 5 / 5	I>>	2580,0	0,5	10	A 32
		10	300 / 5 / 5	IE	120,0	1,6	10	A 15
		10	-	oz		0,0/0,3	10	RPOZI
Veveří	11	10	300 / 5 / 5	I>	300,0	0,7	10	AT 31 X
K		10	300 / 5 / 5	I>>	2400,0	0,0	10	A 32
		10	300 / 5 / 5	IE	120,0	0,7	10	A 15
		10	-	oz		0,0/0,3	10	RPOZI

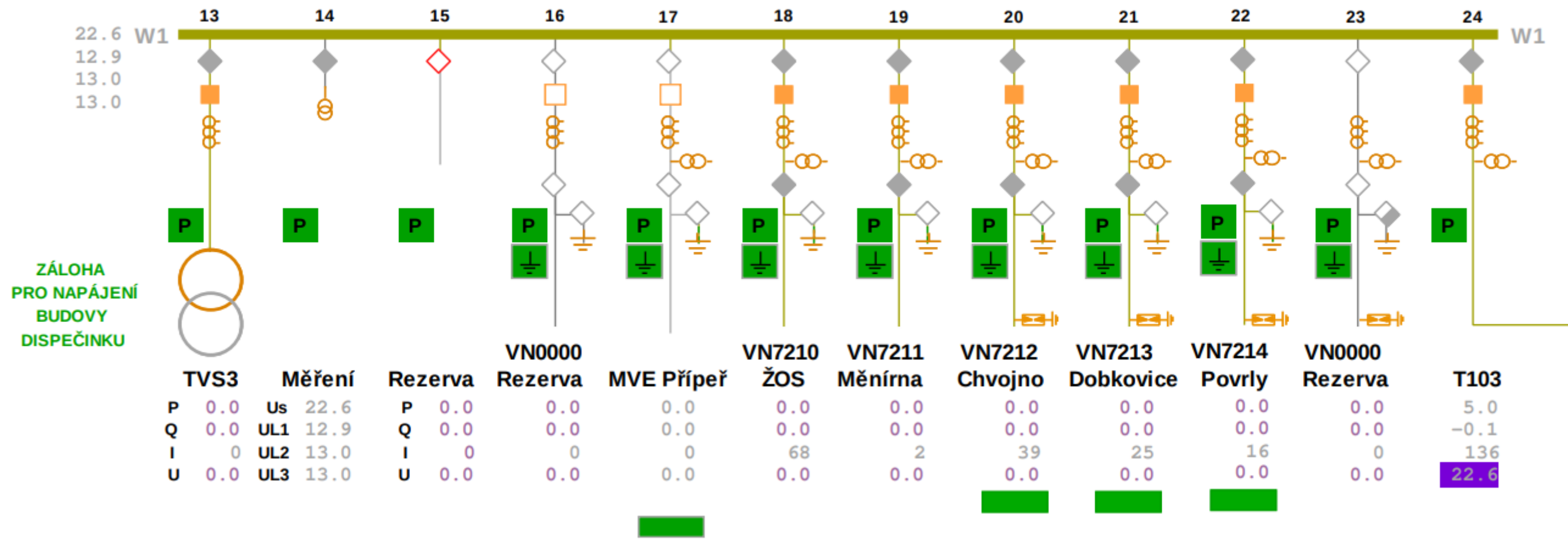
Příloha A9 – nastavení VN ochran.

Vývod	Číslo kobky	kV	MTP (A) MTN (kV)		Nast. I (A) Nast. U (kV)	t (s)	Vypínač VVN - VN	Ochrana
T 104 - 25 MVA	7 / 12	110/10	150/1-1250/5	Idiff>/ Idiff>>/Un	0,5 / 9,1 / 107,2	0,0	110 + 10	7UT612
	7	110	150/1/1	I>	183,0	1,9	110 + 10	AT 31 X1
	7	110	150/1/1	I>	157,5	12,0		AT 12 X1
	12	10	1250/5/5	I>>	8250,0	0,8	10	3 x A15 + T 11X
	12	10	1250/5/5	I>	1625,0	1,9	10	
	12	10	1250/5/5	I>>	7250,0	0,8	10	
	12	10	10 / 0,1 kV	U<	70%			3 x V15
			300/1	ks.t.	240,0	0,0	110 + 10	A15
Odporník	7	10	50/5	IE	50,0	2,0	110 + 10	AT 12 X1
Odporník - kostrová	7	10		ks.o.				A 15

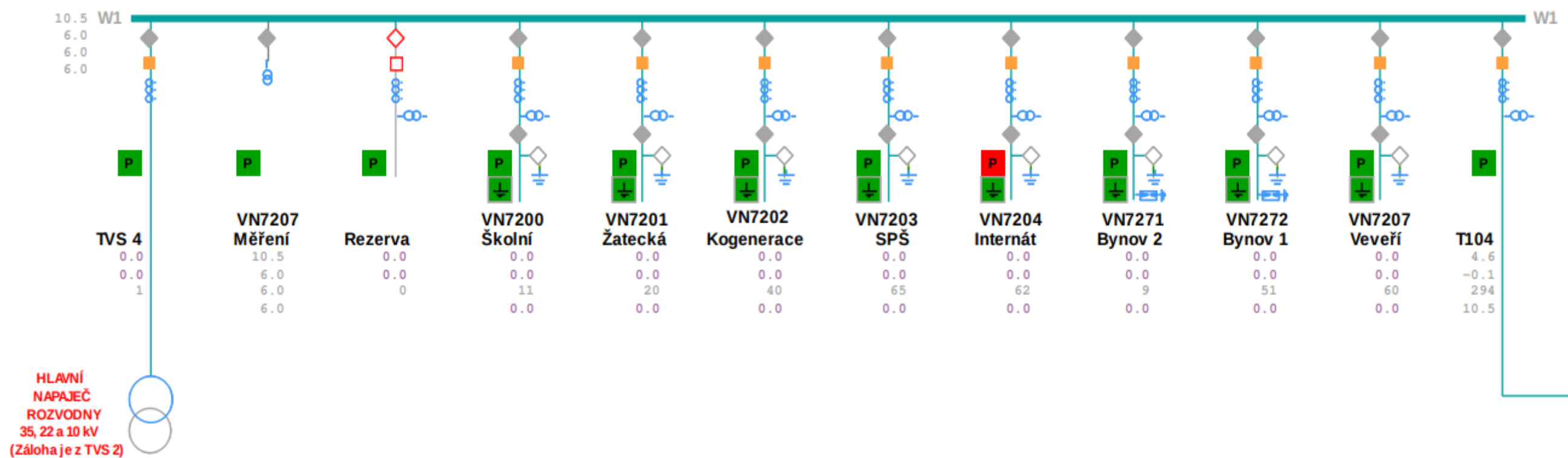
Příloha A10 – nastavení VN ochran.



Příloha B – část rozvodny 35 kV.



Příloha C – část rozvodny 22 kV.



Příloha D – část rozvodny 10 kV.