

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**System elektrických ochran transformátoru 110/6,3 kV**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2013/2014

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

Jméno a příjmení: **Bc. Michal KŘÍŽ**  
Osobní číslo: **E12N0132P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Jaderná elektroenergetika**  
Název tématu: **Systém elektrických ochran transformátoru 110/6,3 kV ETE**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Popište transformátorovou koncepci.
2. Vytvořte přehled historie principů a technických řešení chránění transformátorů v elektroenergetice.
3. Navrhněte digitální ochrany pro transformátor 110/6,3kV.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


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

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

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2013  
Termín odevzdání diplomové práce: 12. května 2014

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



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

V Plzni dne 14. října 2013

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce popisuje ochrany výkonových transformátorů, dále popisuje transformátorovou koncepci a utváří základní historický přehled ochran. Poslední částí práce je návrh digitální ochrany transformátoru 110/6,3kV Čerpací stanice Hněvkovice, která zásobuje surovou vodou jadernou elektrárnu Temelín.

## **Klíčová slova**

Transformátor; nadproudová, srovnávací, rozdílová, tepelná ochrana; plynové relé; tepelná funkce; analogová ochrana; digitální ochrana; přístrojový transformátor proudu, napětí; primární, sekundární, terciální vinutí; zemní spojení

## **Abstract**

This diploma thesis describes the protection of power transformers, further describes the concept and constitutes the basic historical overview of protections. The last part of the thesis is the design of digital protection of transformer 110/6, 3 kV pumping station Hněvkovice, which supplies water nuclear power plant.

## **Key words**

Transformer, overload, comparative, differential thermal protection; gas relays, thermal function, analog protection; digital protection; instrument current transformer, voltage, primary, secondary, tertiary winding; ground fault

## **Prohlášení**

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 12.5.2014

Michal Kříž

## **Poděkování**

Touto formou bych chtěl poděkovat Ing. Janě Jiříčkové Ph.D., Ing. Jiřímu Bermannovi a Ing. Ondřeji Trubkovi za odborné rady a za poskytnuté materiály.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>ÚVOD A CÍL PRÁCE</b> .....	<b>10</b>
<b>ÚVOD A CÍL PRÁCE</b> .....	<b>10</b>
<b>1 TRANSFORMÁTOROVÁ KONCEPCE</b> .....	<b>11</b>
1.1 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY ČR, SR A JEJICH ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI .....	12
1.1.1 Jednotná jmenovitá napětí a zemnění uzlů transformátorů .....	12
1.1.2 Trojúhelníkové zapojení a správně umístěný troj. v transformátoru .....	13
1.2 KONCEPČNĚ SPRÁVNÉ TRANSFORMÁTORY .....	15
1.2.1 Transformátory zvn – 110kV .....	16
1.2.2 Transformátory vn/nn .....	17
1.2.3 Regulace napětí .....	17
1.2.4 Velikosti stupňů napětí .....	18
1.3 ROVNOMĚRNÉ ROZLOŽENÍ PROUDŮ PŘI ZEMNÍM SPOJENÍ .....	19
1.4 PŘENESENÉ PROUDY NULOVÉ SLOŽKY NA STRANU VN PŘI ZEMNÍM SPOJENÍ 110kV .....	20
<b>2 SÍŤ 110KV V ČR</b> .....	<b>21</b>
2.1 KONCEPCE CHRÁNĚNÍ V SOUSTAVĚ 110KV A ZAŘAZENÍ T110/VN .....	22
2.1.1 Koncepce chránění v soustavě 110kV .....	22
2.1.2 T110kV/vn .....	22
<b>3 HISTORIE CHRÁNĚNÍ ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ VYSOKÉHO NAPĚTÍ</b> .....	<b>25</b>
<b>4 CHRÁNĚNÍ TRANSFORMÁTORŮ 110/VN</b> .....	<b>25</b>
4.1 PORUCHY TRANSFORMÁTORU .....	25
4.2 OCHRANY TRANSFORMÁTORŮ .....	26
4.2.1 Rozdílová ochrana .....	26
4.2.2 Ochrana proti přetížení transformátoru .....	27
4.2.3 Tepelná funkce .....	27
4.2.4 Proudová zkratová ochrana .....	28
4.2.5 Srovnávací ochrana .....	28
4.2.6 Plynové relé (Buchholzovo relé) .....	28
4.2.7 Nádobová ochrana .....	28
4.2.8 Ochrana proti přebuzení jádra transformátoru $f/U$ .....	29
4.2.9 Zemní ochrana vinutí vn .....	29
<b>5 NÁVRH DIGITÁLNÍ OCHRANY TRANSFORMÁTORU 110/6,3 KV (ČSH)</b> .....	<b>30</b>
5.1 VÝPOČET PRO SELEKTIVITU TRANSFORMÁTORU .....	30
5.1.1 Poruchové stavy v ES .....	30
5.1.2 Výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů .....	31
5.1.3 Kontrola koeficientů ochran .....	32
5.1.4 Výpočet zkratových poměrů .....	34
5.2 NASTAVENÍ OCHRAN .....	39
5.3 VÝBĚR NOVÉHO DIGITÁLNÍHO CHRÁNĚNÍ .....	44
<b>6 ZÁVĚR</b> .....	<b>50</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>51</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>1</b>



## Seznam symbolů a zkratk

$zvn, vvn, vn, nn$  ... Jednotlivé hladiny napětí (zvlášť vysoké, velmi vysoké, vysoké a nízké napětí) [kV]

$OZ$  ..... Systém opětovného zapnutí

$u_k$  ..... Napětí na krátko

$I_n$  ..... Jmenovitý proud

$MTN$  ..... Měřicí transformátor napětí

$ETE$  ..... Elektrárna Temelín

$LOP$  ..... Logika ochrany přípojníc

$\Delta i$  ..... Rozdílový proud

$i_\infty$  ..... Dovolovaný rozdílový proud

$ES$  ..... Elektrizáční soustava

$\check{C}SH$  ..... Čerpací stanice Hněvkovice

$PTP$  ..... Přístrojový transformátor proudu

$\Delta P_k$  ..... Ztráty nakrátko

$I_k^{\prime\prime}$  ..... Zkratový proud

$U_n$  ..... Jmenovité napětí

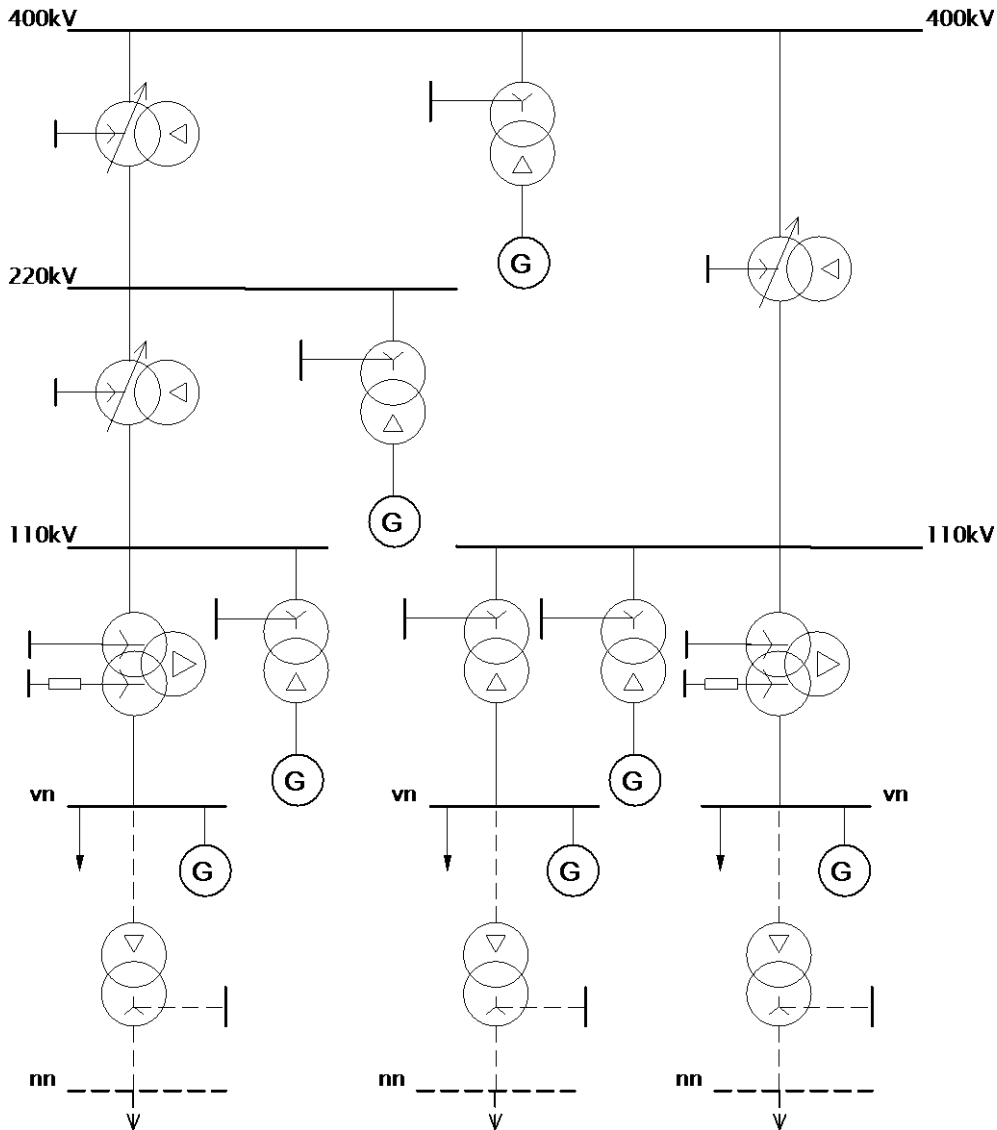
## Úvod a cíl práce

Předkládaná diplomová práce se zabývá problematikou chránění transformátorů elektrickými ochranami a to od historických principů ochran až po ty současné. Práce se zaměřuje na konkrétní transformátor 110/6,3 kV v čerpací stanici Hněvkovice, která zásobuje surovou vodou jadernou elektrárnu Temelín. Hlavním bodem této práce je návrh digitálního chránění tohoto typu transformátoru, jelikož stávající systém chránění sice vyhovuje požadavkům normy ČSN 33 3051 dle bodu 3.2.1 na kontrolu činnosti ochran, nicméně nevyhovuje požadavku dle bodu 3.3 „Opatření pro chránění důležitých částí ES“ [8], kde je doporučeno pro alternátory od 100 MW a systémy vlastní spotřeby jaderně energetických zařízení trvalá automatická kontrola důležitých obvodů ochrany. (Systém zásobování surovou vodou je pro jadernou elektrárnu důležitý ve všech režimech). Dále v systému chybí prvky pro kontrolu a záznam činnosti ochran, kterou popisuje bod 3.2.3 této normy.

Stávající elektromechanické a elektromagnetické ochrany, kterými je vyzbrojena rozvodna ČSH jsou již poměrně staré (cca 15let) a dá se tedy předpokládat nárůst jejich poruchovosti. Tyto ochrany vyžadují pravidelný dohled a testování. Testování je prováděno každý měsíc. Signalizace rozdílové ochrany RAX 1 pomocí žárovek a páček je nezřetelná a poruchová, což není provozně vhodné. Stávající systém neumožňuje záznam dvouhodnotových ani analogových průběhů poruch a neexistuje zde systém automatické kontroly stavu a jeho signalizace, jak je již zmíněno výše, což by nové digitální chránění umožnilo.

# 1 Transformátorová koncepce

Důraz kladený na správnou transformátorovou koncepci a důsledné vybírání správných transformátorů koncepčně se hodících do stávající sítě, má příznivý vliv na stabilitu sítě a na následné zvládnání poruch v dané síti.

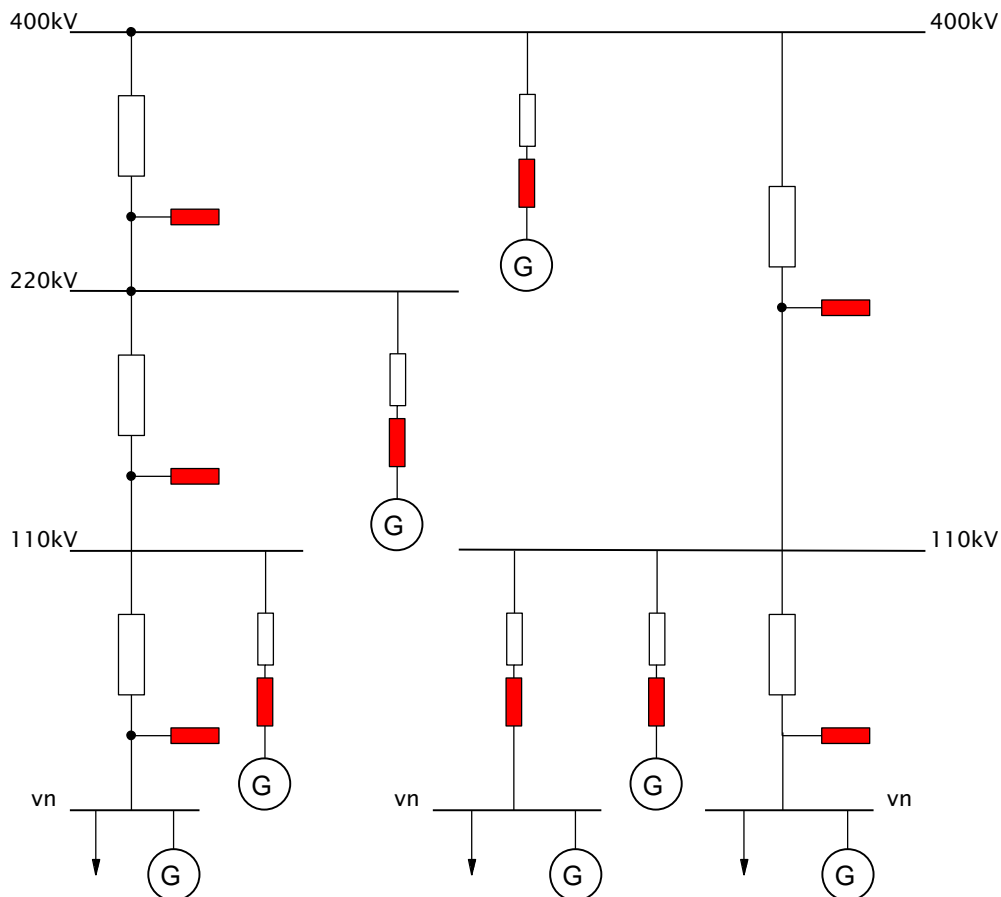


Obr. 1-1 Transformátorová koncepce ČR

Jako základní jednotku k uspořádání sítě považujeme transformátory. Transformátory udávají v síti nejen jmenovitá napětí jednotlivých hladin, ale například i způsob zemnění jednotlivých sítí, hodinové úhly mezi nimi a další atributy. Správným řazením transformátorů můžeme síť propojovat ve velké celky, které se mohou do jisté míry na stejných síťových hladinách nahrazovat. Takto se dá docílit spolehlivého síťového celku s malými ztrátami.

## 1.1 Elektrizáční soustava ČR a její základní vlastnosti

### 1.1.1 Jednotná jmenovitá napětí a zemnění uzlů transformátorů

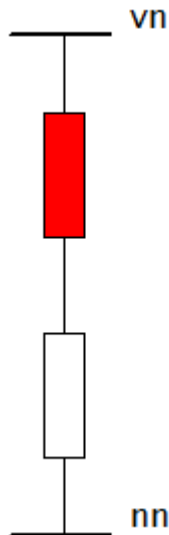


Obr. 1-2: Transformátorová koncepce ČR, umístění **trojúhelníků** transformátorů a přechody zvn-vvn-nn.

Mimo některé starší městské sítě vn, jsou u nás zastoupeny napěťové hladiny od zvn až po nn:

$$400; 220; 110; 22(35); 6,3(10); 0,4 \text{ kV}$$

Sítě s jiným než účinným (tvrdým) zemněním jsou psány kurzívou. Jsou to sítě vn. Hladiny zvn+vvn a nn jsou u nás tvrdě zemněné. Na napěťových hladinách zvn+vvn a nn mají všechny transformátory alespoň jedno vinutí zapojené do trojúhelníku (sekundární nebo terciální). Konfigurace  $e_k$  těchto transformátorů je taková, že trojúhelník je u zvn a vvn většinou na straně nižšího napětí u transformátorů vn/nn je trojúhelník na straně vn. Tzn. vždy na opačné straně než je tvrdě zemněný systém.



Obr. 1-3. Transformátorová koncepce ČR – umístění **trojúhelníku** transformátoru – přechod vn – nn.

V naší koncepci by se neměl vyskytnout transformátor bez trojúhelníkového zapojení. U některých transformátorů je nahrazeno trojúhelníkové zapojení zapojením do lomené hvězdy což není zcela správně. Trojúhelníkové zapojení je výhodné z mnoha důvodu, které budou popsány v následujících kapitolách.

### 1.1.2 Trojúhelníkové zapojení a správně umístěný troj. v transformátoru

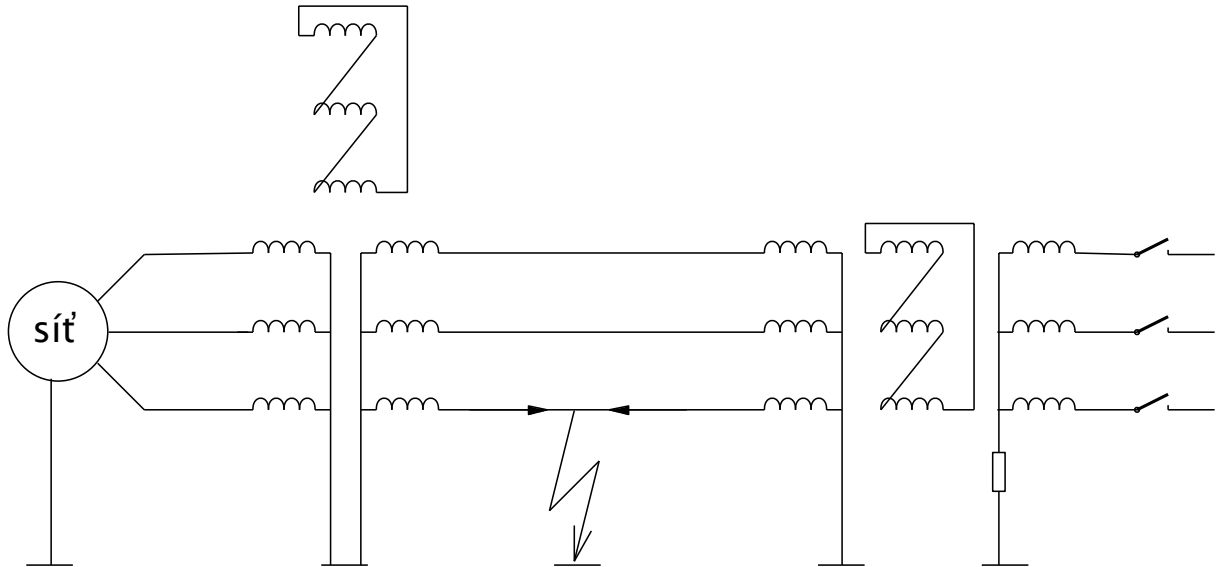
Výhody transformátorů zapojených do trojúhelníku:

- Nulová složka proudu se v trojúhelníku uzavírá a to má příznivý vliv na symetrizaci sítě (nesymetrie – nevyváženost způsobená zejména zátěží v nn případě vn, nebo poruchami ve fázích různých napěťových hladin atd.). Směrem od zdroje nesymetrie se nesymetrie zmenšuje.
- V trojúhelníkovém zapojení se uzavírají 3. harmonické a její násobky. Vliv se zmenšuje směrem od zdroje 3. harmonické.
- Uzavírá nesouměrný flickr, jehož vliv se rovněž zmenšuje směrem od zdroje flickru.
- V tomto zapojení je umožněno jednopólové oboustranné opětovné zapnutí na zvn a vvn i na straně bez zdroje => spolehlivost přenosových sítí. To má zásadní vliv na napěťovou a výkonovou stabilitu v síti. Zvyšuje se úspěšnost likvidace zkratů a zkracuje se jejich trvání. Úspěšnost opětovného zapnutí je přes 90 %.
- Je umožněno vyhovující napětí, které způsobuje vyšší spolehlivost sítí vn, při 1 pólové pauze opětovného zapnutí na vvn.

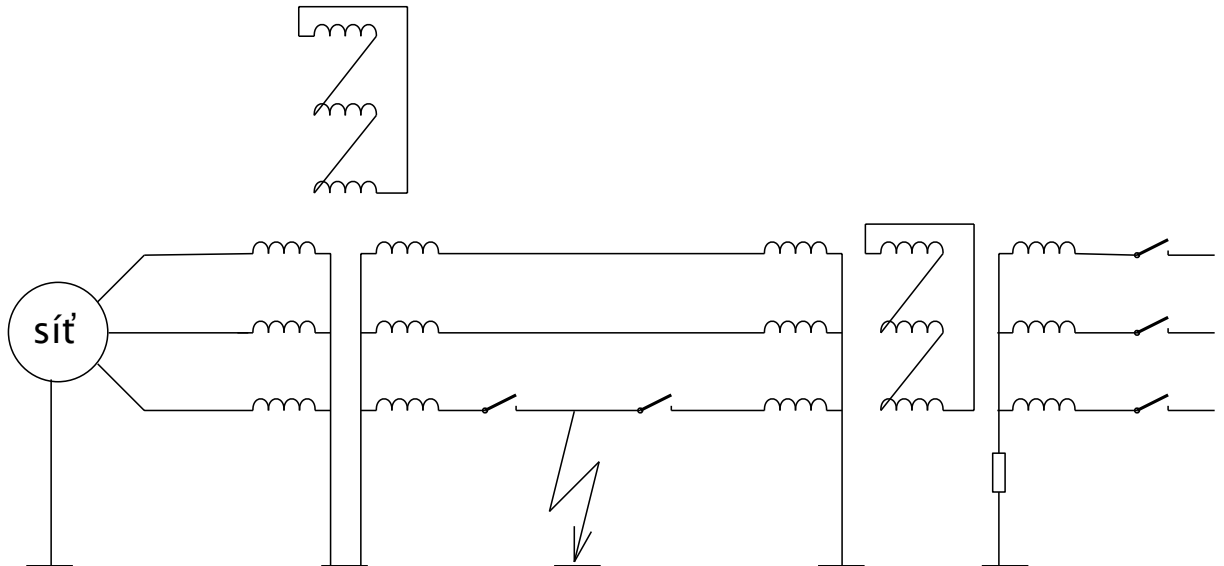
- Zmenšuje nulové složky napětí přenášené při zemních zkratech ve vyšších hladinách napětí do nižších hladin napětí. To zmenšuje namáhání izolace a vznik následných poruch => spolehlivost sítí vn a nn.

Rovnoměrné rozložení zkratových proudů a zemních zkratů zvn a vvn.

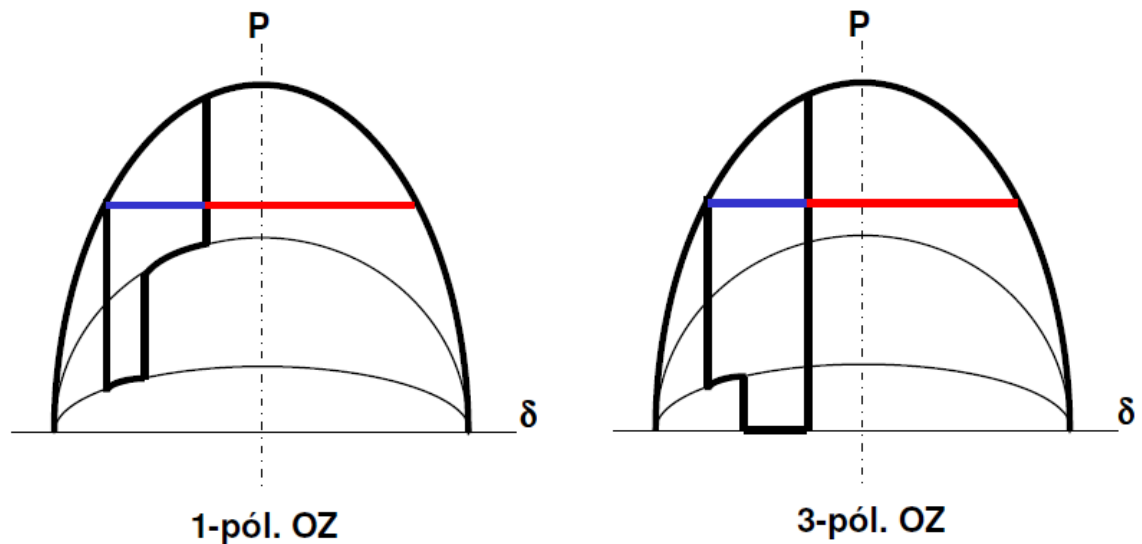
Na obrázcích níže je vidět vliv systematického použití zapojení do trojúhelníku v transformátorech zvn a vvn na spolehlivost sítí.



Obr. 1-4:1 - pól. OZ - 1. fáz. zkrat: naběhnutí ochrany i ze strany bez zdroje



Obr. 1-5:1-pól. OZ pauza



Obr. 1-6: Srovnání 1 - pól. a 3-pól. OZ z pohledu stability

Zvýšenou spolehlivost zajišťují jednopólová opětovná zapnutí v sítích zvn a 110 kV. Tyto sítě jsou tvrdě zemněné a mají troj. na nižší hladině napětí.

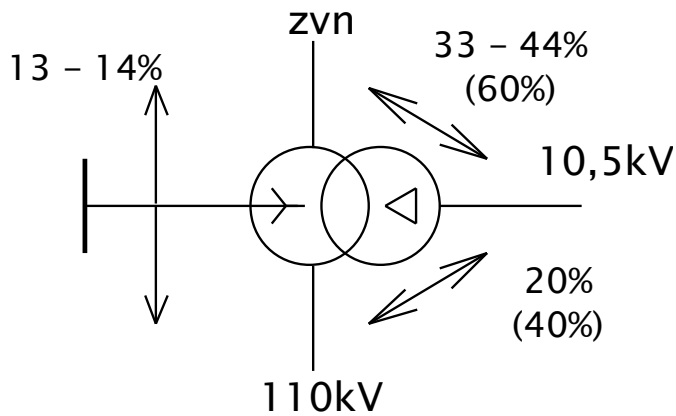
V těchto sítích je přes 90 % jednofázových zkratů, v sítích zvn dokonce skoro 100 %. V obrázcích 4. až 6. je vidět vliv transformátorové koncepce na úspěšné zvládnutí opětovných zapnutí. Na obrázku 4. je vidět reakci ochrany i na straně bez zdroje, a tím je vypnuta jen postižená fáze na obou stranách. Na obrázcích 4. a 5. Je dále vidět vliv trojúhelníkového zapojení na udržení fázového napětí na postižené fázi při zkratu, ale také v pauze opětovného zapnutí. Tento efekt má kladný vliv na udržení provozu v sítích za transformátorem.

V obrázku 6 je vidět srovnání 1 – pólové opětovné zapnutí s 3 – pólovým opětovným zapnutím v trojúhelníkovém zapojení v souvislosti se stabilitou přenosu. U 3. pólového opětovného zapnutí je vidět větší plocha pod čarou. U obou opětovných zapnutí je stejný výchozí bod a úsek zkratu, ale v pauze opětovného zapnutí u 1. pólového opětovného zapnutí, je vidět relativně velký podíl přenesené sinusovky činného výkonu a u 3. pólového není přenesen žádný podíl.

## 1.2 Koncepčně správné transformátory

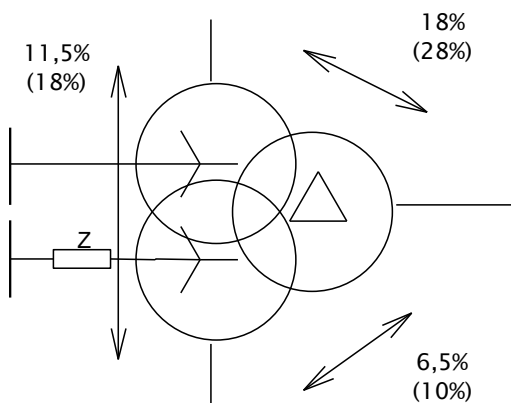
Aby byly splněny výše uvedené koncepční vlastnosti sítí zvn/vvn/vn, je třeba vybírat pro ČR správné konfigurace provedení transformátorů, jinak by byla ničena koncepce. Dříve když pro ČSR tyto transformátory vyráběly jen dvě firmy ČKD a Škoda, stačilo výrobcům zadat jen převod a výkon a výrobce vyrobil koncepčně správný transformátor. Dnes je kvůli rozmanitosti výrobců na trhu nutnost zadat všechny elektrické parametry v duchu naší koncepce.

### 1.2.1 Transformátory zvn – 110kV



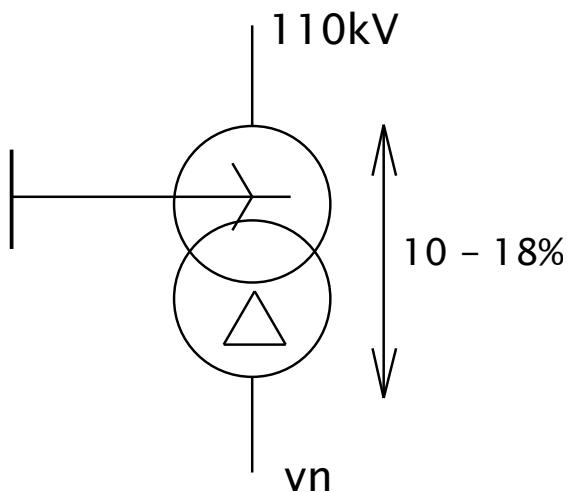
Obr. 1-7: Velké síťové transformátory zvn/zvn a zvn/110kV. Výkony řádově 100 - ky MVA  
v závorkách pro T400/220kV.

### 1.2.1. Transformátory 110kV – vn



Obr. 8: Síťové transformátory 110kV/vn (22 nebo 35kV) výkony řádově 10-ky MVA

V závorkách T110/22kV 63MVA

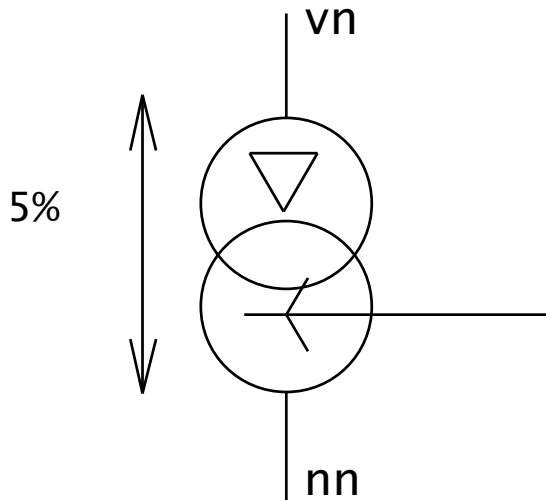


Obr. 1-9: Transformátory ve velkých továrnách, vlastních spotřebách elektráren a tepláren...110kV/vn



(6,3kV 10,5kV a generátorové napětí). Řadově 10-ky MVA

### 1.2.2 Transformátory vn/nn

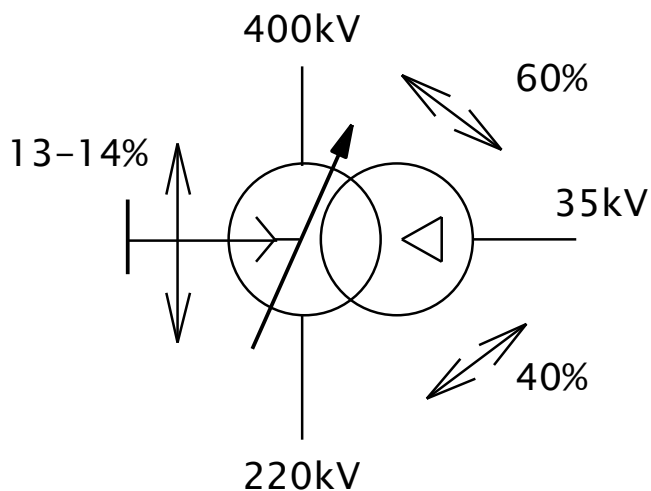


Obr. 1-10: Transformátory vn/nn (04kV): průmyslové, síťové... trojúhelník na straně vn výkony 100-ky kVA.

### 1.2.3 Regulace napětí

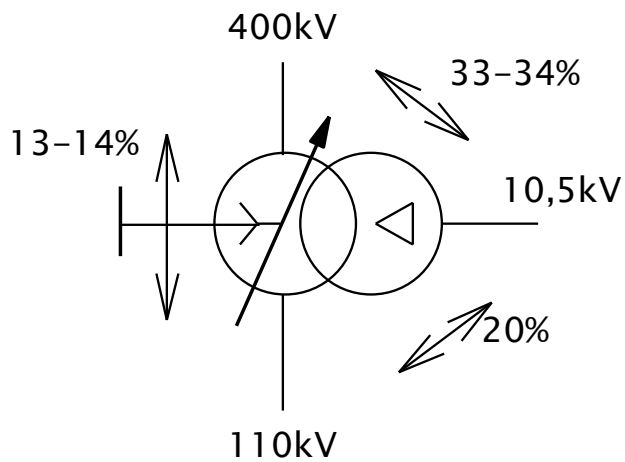
Pro udržení správně transformátorové koncepce je třeba připojovat transformátory s dobře postavenými regulačními vinutími a jejich odstupňování. Bohužel jsou již v naší soustavě transformátory se špatnými odbočkami.

Autotransformátory zvn/vvn (400/220kV)



Obr. 1-11: Velké síťové autotransformátory zvn/vvn výkony 100-ky MVA.

Autotransformátory zvn(vvn)/110kV (400(220)/110kV)

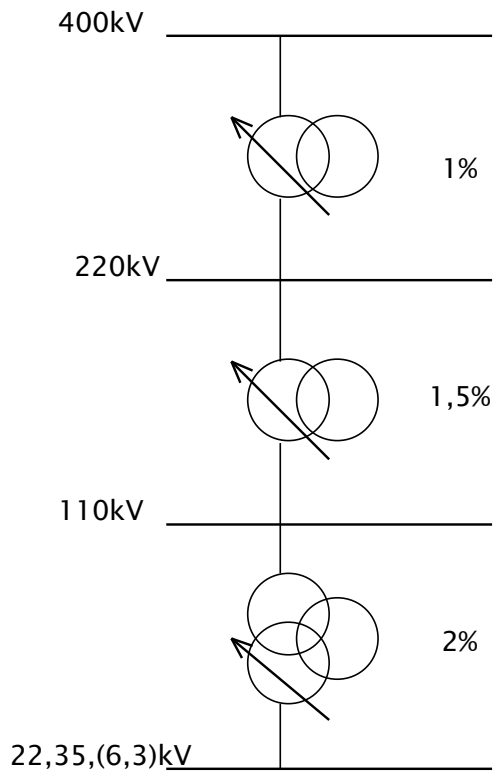


Obr. 1-12: Velké síťové autotransformátory zvn/110kV výkony 100MVA

Regulace na nižší straně (110kV). 105,5 – 121 – 136,5kV, odboček je 19 po zhruba 1,45%. Zpracováno z materiálů [2].

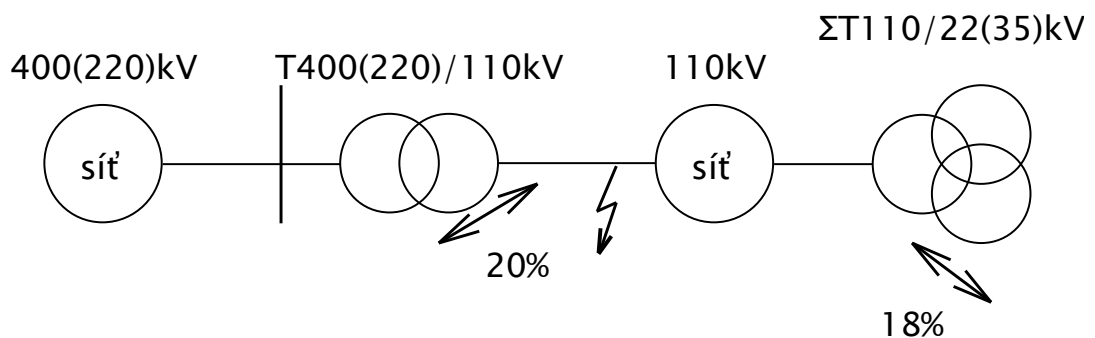
#### 1.2.4 Velikosti stupňů napětí

Směrem k vyšším hladinám ubývá velikost stupně napětí a to o 0,5%. Důvodem je aby horní hladina napětí usadila napětí mezi stupně hladiny dolní a tím nedošlo ke zpětné regulaci dolní hladiny napětí, na kterou by zase reagovala horní hladina napětí => kmitání regulace.



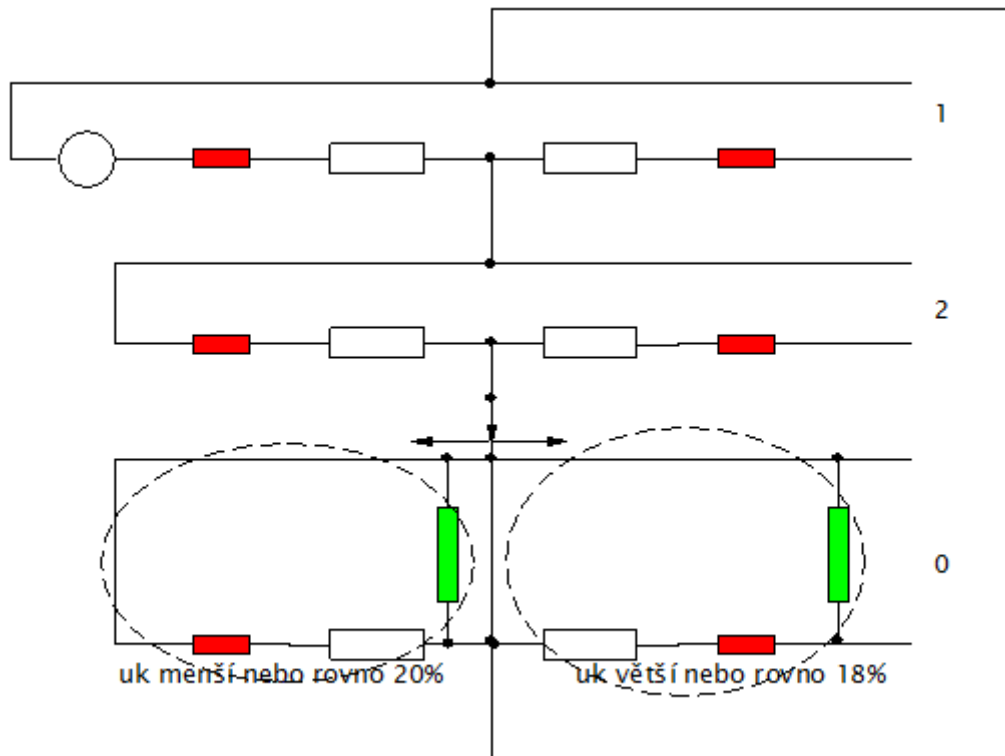
Obr. 1-13: Velikosti napět. regulačních stupňů transformátorů v soustavě. Použité materiály [3].

### 1.3 Rovnoměrné rozložení proudů při zemním spojení



Obr. 14: Vliv koncepčně správně umístěných trojúhelníků T400(220)/110kV a navržených poměrných napětí nakrátko na rovnoměrné rozložení zkratových proudů při jednopólovém zkratu v síti.

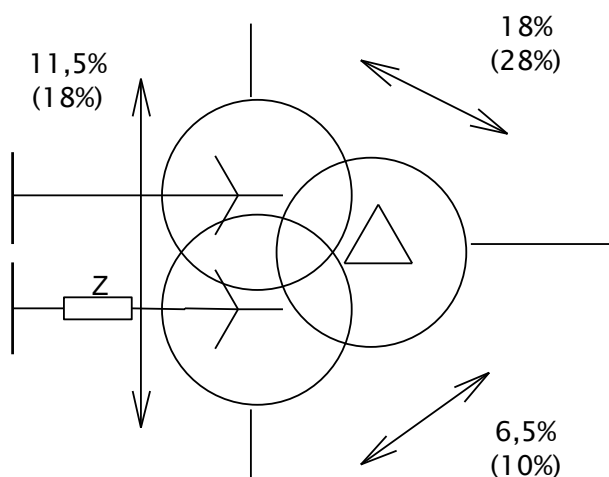
V obrázku 14. Je vidět vliv  $u_k$  v síti 110kV. Následující schéma ukazuje další dovyvážení vlivem obou sítí zvn a 110kV.



Obr. 1-15: Vliv koncepčně dobře umístěných trojúhelníků T400(220)/110kV a navržených  $u_k$  na rovnoměrné rozložení zkratových proudů při jednofázovém zkratu v síti 110kV, 1 – sousledná složka, 2 – zpětná složka, 0 – netočivá složka. 0

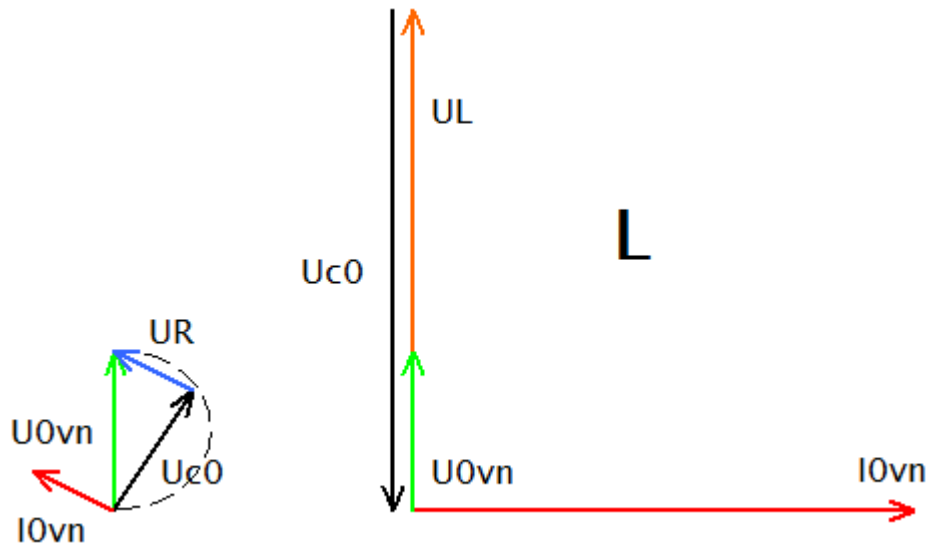
#### 1.4 Přenesené proudy nulové složky na stranu vn při zemním spojení 110kV

T110/VN síťový, tovární



V závorkách pro T110/22kV výkon 63MVA.

Obr. 1-16: Síťový T110/vn se sekundárním vinutím zemněným přes impedanci



Obr. 1-17:  $U_{c0}$  při zemnění přes odpor R (vlevo) a přes Petersenovu tlumivku L (vpravo).

$U_{0vn}$  – nulové napětí, které se objeví na svorkách transformátoru

$U_{c0}$  – nulové napětí, které se objeví v síti vn.

$$U_{0vn} = 0,13 U_{fn\ vn} \text{ s } \Delta \text{ transformátoru}$$

$$U_{0vn} = 0,33 U_{fn\ vn} \text{ bez } \Delta \text{ transformátoru}$$

Vliv trojúhelníku je napětí  $U_{0vn}$  na svorkách transformátoru menší, než kdyby tam trojúhelník nebyl. Toto napětí zmenšují i trojúhelníky v sítích zvn a vvn. Je zřejmé, že síť zemněná přes odpor je namáhána menším napětím, než je napětí přenesené (induktivně) na vn, na rozdíl od sítě zemněné přes tlumivku, kde je tato síť namáhána několika násobně větším napětím než je přenesené napětí na vn. Zpracováno z materiálů [2], [3].

## 2 Síť 110kV v ČR

Sítě 110kV jsou u nás z historických důvodů spojeny s nadřazenou sítí 400(200)kV zpravidla jen jedním transformátorem. Dnes se tyto oblasti spojují přes více než jeden transformátor a to v zapojení můstek (elektricky ale i místně blízké transformátory), nový koncept (elektricky ale i zeměpisně vzdálené transformátory) a jejich kombinace. Tyto sítě jsou u nás provozovány jako účinně - zemněný systém a vytvářejí spojitost mezi sítí zvn (400 a 220kV) a vn (22,35 a 6,3kV), v síti 110kV se sledují souvislosti mezi:

- 1) Nadřazenou sítí zvn
- 2) Transformátory zvn/110kV
- 3) Vlastními sítěmi 110kV a rozvodnými podniky
- 4) Elektrárnami v síti 110kV a jejich společnými spotřebami

- 5) Elektrárnami v nadřazené síti se společnými vlastními spotřebami ze sítě 110kV
- 6) Sítěmi vn
- 7) Továrnami sítěmi 110kV

Pro optimalizaci ztrát, spolehlivost provozu, ochranu a údržbu zařízení musíme mít navrženou a propočtenou síť. Zejména přenosy výkonů, ztráty na vedení, úbytky napětí. Dále je třeba mít k dispozici pracovní a poruchová schémata, návrh chránění a HDO. Jestliže splníme tyto atributy, vytvoříme sourodou, vyrovnanou, hospodárnou a spolehlivou síť, která si může při poruše pomoci sama. Při nesplnění některého z atributů je zřejmé, že síť bude fungovat špatně ne-li vůbec.

## 2.1 Koncepce chránění v soustavě 110kV a zařazení T110/vn

### 2.1.1 Koncepce chránění v soustavě 110kV

V soustavě 110kV se používají distanční ochrany se vzdáleným zálohováním. Výpočet pro vlastní chránění je jednodušší než pro záložní chránění. Blížíme se vztahu:

$$Z = k * d[\Omega]$$

Z – impedance chráněného zařízení

k – konstanta úměrnosti

d – vzdálenost

#### **Vnitřní rozvodny:**

Pro včasné vypnutí zkratu by mělo být v místě, kde se k mění směrem k protější rozvodně proměnným způsobem dvě distanční ochrany na lince. Jsou to rozvodny s více linkami pohromadě s elektrárnou a také tři a více - směrové rozvodny. Dále by v těchto rozvodnách měli být systémové ochrany rozvodny (zkratová + selhání vypínače s logickou ochranou rozvodny, která nepotřebuje přípojnicové odpojovače)

### 2.1.2 T110kV/vn

#### **Paprsky T 110kV/vn**

Pro úspěšnost OZ je třeba linky vybavit novými digitálními ochranami, které mají malé prahové proudy. Když nevyjde dobře výběr fáze na Bauchův paradox na napájecí straně, kde je stará elektromechanická ochrana je třeba ji zase vyměnit za novou digitální.

### **T – odbočky s T 110kV/vn**

Trojsměrné uspořádání už na vlastní lince. Většinou ji nelze chránit z konce kmenové linky až do konce. Do chránění vlastní linky zanáší boční příspěvek trojúhelníka transformátoru, když je za ním zdroj tak zanáší i jeho příspěvek. Tyto příspěvky mohou způsobit, že OZ ochran na kmenové lince je neúspěšný. Tím se přeruší přenos a na transformátoru s T – odbočkou bude omezení dodávky. Pro úspěšný OZ je třeba OZ – tovat i se třetím bodem, ten je však nutné strhávat, protože distanční ochrana (digitální) z T – odbočky nedohlédne daleko. Kmenová T – linka má mnoho míst, kde nereagují ochrany. Tento problém se dá řešit nasazením trojbodových rozdílových nebo srovnávacích ochran, ale bohužel jen částečně, navíc ochrany potřebují spojovací cestu. Je to drahé řešení.

Abychom T – odbočky obsáhli oběma distančními ochranami kmenové linky alespoň OZ-tovou zónou, musíme pro daný způsob napájení stanovit její velikost a umístění. Místo a velikost jsou však velmi omezené a závislé na přepojení sítě. Pro dlouhou kmenovou linku je třeba využít lokátor poruch, je třeba vědět, že T-odbočka s transformátorem zkresluje jeho hodnoty.

### **T 110kV/vn**

U transformátorů 110kV/vn by mělo být tzv. soběstačné chránění. To znamená, že když selže nadproudová ochrana, nezpůsobí to nevypnutí transformátoru. Transformátory 100kV/vn se zálohují až na stranu vn pomocí distančních linkových ochran 110kV. Doba jejich reakce je až několik sekund z důvodů selektivního nastavení ochran. Tato záloha se vyplatí například u malých drážních transformátorů, kdy se vlivem vytažení oblouku na vn straně sníží proud pod náběhovou/odpadovou hodnotu nadproudové ochrany, a to i na straně linky vn. Potom jsou distanční ochrany 110kV jediná záchrana (byť s dlouhou dobou vypnutí).

Řešení problému z předchozího odstavce přináší chránění dvěma nadproudovými ochranami. Jedna bude klasická a druhá bude blokována podpětím z vn strany s dojezdem času, když odpadne jedna ze složek, která umožní proudové nastavení pod jmenovitou hodnotu. Zde není míněná závislá ochrana, která zjišťuje velikost zkratového proudu a tím je závislá na čase, která by prodlužovala reakci na vypnutí zkratu. Použité materiály [1].

### **T 110/6,3kV**

Rozvodny 110/6,3 kV slouží jako rezervní napájení výrobních bloků. Konkrétním případem může být elektrárna Temelín (ETE) a její rozvodna 110/6,3kV s dvojicí rezervních transformátorů 7(8)BT1(2), pro které bude v části 5. vypracován návrh digitálních ochran.

Tato dvojice transformátorů je napájena z rozvodny Kočín 400/110 kV. V areálu ETE je

vedení 110kV, což znamená délka od posledního stožáru až na průchody transformátoru, je osazeno jen ventilovými bleskojistkami nebo omezovači přepětí a měřicími transformátory napětí (MTN). Bleskojistky nebo omezovače přepětí chrání zejména vstupní závity rezervních transformátorů před účinky atmosférických přepětí.

### **Odporové uzemnění sekundární části transformátoru 110/6,3kV**

Zásadním problémem sítí vn s izolovaným nulovým bodem je přepět'ové namáhání rozvodů a spotřebičů těchto sítí nastane-li zemní spojení. Toto zemní spojení se u těchto sítí špatně hledá.

Účinným řešením tohoto problému je snížení amplitudy přepětí vzniklém při zemním spojení v sítích vn s izolovaným nulovým bodem uzemněním přes odpor. Při volbě velikosti odporu musíme brát v potaz skutečnosti:

- a) Čím je hodnota odporu nižší, tím jsou přepětí při zemních spojeních menší a přepět'ový ráz je rychleji tlumen, ale proud poruchy je vyšší
- b) Čím je hodnota odporu vyšší, tím jsou přepětí při zemních spojeních větší a přepět'ový ráz je pomaleji tlumen, ale proud poruchy je nižší.

V ETE jelikož rozhodnutí zemnit tyto transformátory padlo pozdě, když už byly transformátory ve výrobě, jsou uzly zemněny připojením uzemňovacích transformátorů 400kVA, 6/0,4kV YNd11. Přizemnění uzlů těchto transformátorů je provedeno přes „bezindukční odpor“ o velikosti 100 ohmů. Součinnost zemních proudových ochran a takto zemněné sítě vylučuje dojité zemní spojení a zajišťuje selektivitu při rychlém vypínání postižených úseků vedení.

Chránění blokových rezervních rozvodů 6kV je provedeno pomocí systému proudových a distančních ochran. Proudová relé slouží k uvolnění působení distančních ochran působící při zkratech ve vlastní rozvodně a ve vývodech rozvodny. Selektivitu zajišťuje systém logiky ochran přípojnic (LOP) který je aktivován popudy z distančních ochran. Zpracováno z literatury [4] a [5].



### 3 Historie chránění elektrických zařízení vysokého napětí

První přenosové sítě elektrické energie vysokého napětí vznikaly v České republice asi v 80 – tých letech 19. století. Jako jeden z prvních problémů tohoto systému se objevil elektrický zkrat, který většinou způsobil přetavení vodičů vedení. Tento princip využívá první součástka používaná pro chránění vedení a to tavná pojistka. Tavná pojistka z praktických důvodů přestala brzy vyhovovat a byla nahrazena elektromagnetickým proudovým relé. Tyto dvě součástky za sebou mají zhruba 120 – tiletý vývoj a používají se dodnes.

Podle prvních zmínek se proudová relé pro ochranu při krátkých spojeních začala objevovat na počátcích 90 - tých let 19. století. V této době se objevují první elektromagnetická primární proudová relé, která se připojovala pevně na výkonové vypínače přímo na potenciál vysokého napětí (olejové – kotlové vypínače vn.). Primární relé bylo spínáno elektromagnetickou energií při průchodu elektrického proudu. Cívka relé přitáhla kotvu ochrany a tím uvolnila západku, která umožnila vypnutí vypínače. Zpracováno z materiálů [1].

### 4 Chránění transformátorů 110/vn

#### 4.1 Poruchy transformátoru

Poruchy transformátoru rozdělujeme do dvou skupin:

**Průchozí poruchy** (vlivem připojených zařízení)

**Vnitřní poruchy** (přímo na transformátoru)

**Průchozí poruchy** – mají delší dobu působení, způsobují zvýšení teploty, máme dva typy těchto poruch:

- a) Přetížení - tento poruchový měříme nadproudovou ochranou (závislá ochrana)
- b) Vnější zkrat na připojeném objektu - tento poruchový stav měříme nezávislou nadproudovou ochranou

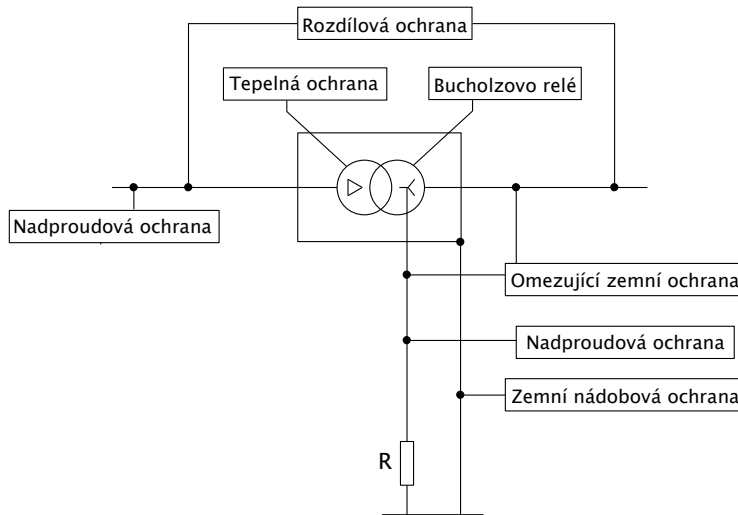
**Vnitřní poruchy** – máme dvě skupiny:

- a) Náhlé – zkraty na svorkách, zkraty na vinutí, zkraty mezi vinutími, zkraty vinutí na nádobu
- b) Pozvolné – špatné galvanické styky, špatná izolace plechů, mikrooblouky v nádobě transformátoru, poruchy chlazení

Náhlé poruchy zachycují ochrany: rozdílová, nádobová, nadproudová, srovnávací, distanční a plynové relé.

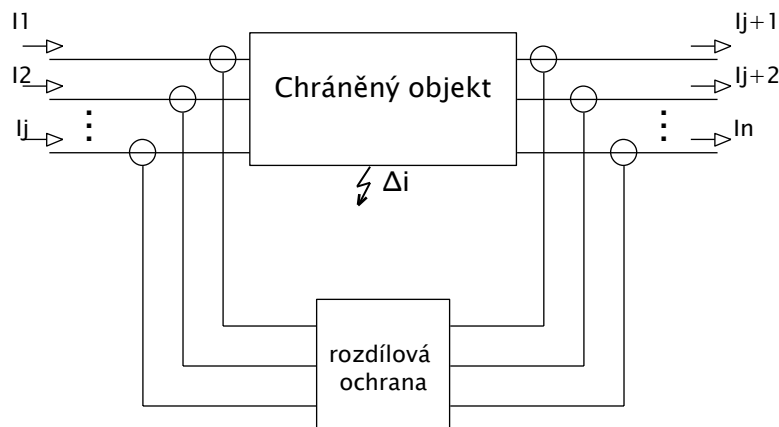
Pozvolné poruchy může v počáteční fázi zachytit pouze plynové relé.

## 4.2 Ochrany transformátorů



Obr. 4-1: Ochrany transformátoru

### 4.2.1 Rozdílová ochrana



Obr. 4-2: Princip rozdílové ochrany

Měří proudy na obou koncích transformátoru. Z rozdílů těchto proudů ochrana rozpozná poruchu uvnitř chráněného objektu. Překročí-li tento proud nastavenou hodnotu, odpojí ochrana objekt na primární i sekundární straně. Normální provoz:

$$\Delta I = \left| \sum_{j=1}^K \bar{I}_j \right| = 0 \quad (4.1)$$

Vztah (4.1) vychází z 1. Kirchhoffova zákona. Při poruše platí:

$$\Delta i = \left| \sum_{j=1}^K \bar{I}_j \right| > 0 \quad (4.2)$$

Zvýšení rozdílového proudu  $\Delta i$  nad nastavenou hodnotu ochrany  $i_\infty$  (dovolený rozdílový proud) způsobí odpojení chráněného objektu na obou koncích od sítě.

Zapnutí transformátoru způsobí proudové rázy  $6 - 10 I_n$ , to na rozdílovou ochranu působí jako vnitřní porucha, proto je třeba zajistit selektivitu pomocí blokování při zapínacím rázu. To je dnes nejčastěji realizováno filtrem druhé harmonické, která tvoří podstatnou část magnetizačního zapínacího proudu.

#### 4.2.2 Ochrana proti přetížení transformátoru

Ochrana přetížení může jednoduše tvořit teploměr, který bude sledovat oteplení transformátoru nebo závislá či nezávislá proudová ochrana, která sleduje zatížení transformátoru. Tato ochrana zabraňuje přílišnému tepelnému namáhání chráněného transformátoru. Moderní ochrany nabízejí více metod určení tepelného přetížení například ochrana 7UT6 nabízí dvě metody: přetížení s tepelným obrazem a výpočet horkého bodu s určením relativní rychlosti stárnutí. Výhodou první metody je jednoduchý postup a malý počet nastavených hodnot. U druhé metody je třeba znát parametry chráněného objektu a jeho okolí a chlazení. Druhou metodu zvolíme, chceme-li provozovat transformátor na hranici výkonu, kdy nás zajímá relativní rychlost stárnutí. Přístroj vypočítává oteplení podle následující diferenciální rovnice:

$$\frac{d\Theta}{dt} + \frac{1}{\tau_{th}} \cdot \Theta = \frac{1}{\tau_{th}} \cdot \left( \frac{I}{I_{NObj}} \right)^2 \quad (4.3)$$

Ochrana má paměťovou funkci, zaznamenává historii přetížení a sdílí tepla do okolí.

#### 4.2.3 Tepelná funkce

Na rozdíl od ochrany přetížení hlídá oteplení (předvídá, za jak dlouho dojde k tepelnému přetížení) a ne absolutní teplotu. Oteplení je způsobeno vyšším proudem, než je dovolené zatížení. Tepelná funkce může být použita u strojů všech výkonů s jakoukoli tepelnou kapacitou.

Ochrana využívá model oteplení objektu. Zvýšením proudu nastane nárůst oteplení,

který je reprezentován exponenciální funkcí. Každý materiál má jinou tepelnou odezvu. U výkonového transformátoru jsou to materiály vinutí, transformátorový olej ... V tomto systému je vždy jedna exp. funkce, která se uplatňuje výrazněji, zde je to například transformátorový olej.

#### 4.2.4 Proudová zkratová ochrana

Lze použít trojfázovou zpožděnou nadproudovou ochranu. Při použití na primární straně transformátoru se ochrana doplňuje blokováním ze sekundární strany, aby byla zajištěna selektivita. Často se využívá směrová zkratová ochrana na sekundárních i primárních stranách transformátorů, kde jsou zdroje významných zkratových příspěvků. Používají se i distanční ochrany.

#### 4.2.5 Srovnávací ochrana

Pro chránění transformátorů se používá výjimečně – je méně citlivá, než rozdílová. Je vhodná spíše na chránění transformátoru společně s vedením. V tomto případě je důležité nastavit necitlivost na zapínací ráz transformátoru. Je blokována frekvenční ochranou, která vyhodnocuje, zda se jedná o vypínací ráz nebo zkrat.

#### 4.2.6 Plynové relé (Buchholzovo relé)

U transformátoru s olejovým chlazením, kdy je umístěn mezi víko transformátoru a konzervátor. Používají se dva stupně plynového relé, první stupeň signalizuje poruchu, druhý stupeň vypíná transformátor. Vlivem hoření oblouku v oleji nebo ohřátí některého vodiče nad přípustnou mez se vytvářejí plyny, na které reaguje plynové relé. Ohřevem oleje se uvolňují plyny vodík, metan, dusík.... Vnitřní zkraty způsobují proudění oleje z nádoby do konzervátoru, což zachytí klapkové relé.

#### 4.2.7 Nádobová ochrana

Pro účinně uzemněné transformátory. Působí na zemní proud procházející kostrou transformátoru například při přeskoku na průchodce nebo jiném zkratu či zemním spojení. Transformátory s touto ochranou jsou umístěny na izolované kolejnice. Kostra transformátoru se zemí je spojena přes přístrojový transformátor proudu, který má připojen na sekundární straně proudovou ochranu. Aby ochrana působila správně, musí být příklady k těmto zařízením protáhnuty průvlekovým přístrojovým transformátorem proudu. Malý izolační odpor nádoby může způsobit chybné zapůsobení. Použitá literatura [1].

#### 4.2.8 Ochrana proti přebuzení jádra transformátoru f/U

Tato ochrana se používá u strojů, (elektrických motorů a transformátorů) které mají magnetický obvod. Ochrana působí při nedovoleném sycení v železe.

#### 4.2.9 Zemní ochrana vinutí vn

Zemní porucha může vzniknout na vinutích transformátoru v zapojení do trojúhelníka, které jsou připojené do sítě přes uzemněný transformátor nebo mají tzv. uzemněný nulový bod. V tomto případě vznikají při zemní poruše značné proudy, jelikož všechny body vinutí mají přinejmenším napětí rovné polovině fázové hodnoty. Tyto poruchy by měla detekovat rozdílová ochrana. Navzdory tomu se často využívá oddělená zemní ochrana pro vinutí zapojené do trojúhelníka. Tato ochrana je velice podobná klasické zemní ochraně, avšak má jen 3 proudové transformátory a jejich primární vinutí jsou zapojena na přívodních vodičích transformátoru. Ochrana reaguje na zemní poruchy chráněného vinutí, protože součet třech fázových proudů od sítě se nebude rovnat nule. Ochrana nereaguje na poruchy vzniklé v přidružené síti, jelikož v zapojení do trojúhelníka se uzavře netočivá složka proudu, potom je součet zbylých složek proudu nulový tzn. Suma síťových proudů se musí rovnat nule, když tomu tak není, je porucha na vinutí. [7]

## 5 Návrh digitální ochrany transformátoru 110/6,3 kV (ČSH)

Stávající systém ochran splňuje požadavky dle normy ČSN 33 3051 na kontrolu činnosti ochran (bod 3.2.1), ale nevyhovuje požadavkům pro opatření pro chránění důležitých částí ES (bod 3.3), kde je doporučeno pro alternátory od 100 MW a systémy vlastní spotřeby jaderně energetických zařízení použití systémů s trvalou automatickou kontrolou důležitých obvodů ochran. Zásobování jaderné elektrárny surovou vodou spadá do těchto důležitých systémů.

U stávajícího systému ochran také chybí prvky pro kontrolu a záznam činnosti ochran (bob 3.2.3)

### 5.1 Výpočet pro selektivitu transformátoru

#### 5.1.1 Poruchové stavy v ES

##### Zkrat:

Tento stav nastává, dotknou-li se dvě nebo tři fáze, případně dojde ke spojení fáze se zemí u sítí, které jsou přímo zemněny či u sítí nepřímo zemněných přes rezistor.

Důsledky zkratu jsou zvýšené tepelné a silové namáhání elektrických vodičů a zařízení, která jsou k nim připojena. Dále tento jev provází pokles napětí, který je nepřímo úměrný vzdálenosti zkratu.

Vlivem zkratu se snižuje činný výkon a to může vést ke ztrátě stability synchronních generátorů, asynchronnímu chodu elektrizační soustavy a může dojít až k jejímu rozpadu.

##### Zemní spojení:

Stav, který nastává v sítích s izolovaným uzlem nebo v sítích s neúčinně uzemněným uzlem (zhášecí tlumivka), při dotyku fáze se zemí.

Při zemním spojení vznikají nebezpečná přepětí a zvyšuje se nebezpečí následného zkratu.

##### Nesouměné zatížení:

Nesouměrné zatížení nastává, když jsou jednotlivé fáze statoru alternátoru (motoru) zatíženy různým proudem. Důsledkem je vznik zpětné složky  $i_2$  vytvářející magnetické pole o velikosti dvojnásobné rychlosti rotoru (v opačném smyslu). Takto vznikají vířivé proudy zahřívající rotor. Nesouměrnost může být způsobena přerušením některé fáze nebo nesouměrnou zátěží. Tento jev může způsobit přehřátí stroje.

Zvýšení kmitočtu:

Vznik většinou poruchou regulace výkonu. Způsobuje mechanické namáhání strojů.

Snížení kmitočtu:

Vznik přetížením generátorů v síti. Způsobuje zvýšení magnetizačních proudů, což zvyšuje ztráty a otepluje stroj.

Zpětný tok výkonů:

Vniká při ztrátě výkonu nebo špatnou energetickou bilancí sítě.[1]

### 5.1.2 Výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů

#### Pro maximální zkratový proud

Do rozvodny 6kV označené BCG jsou připojena 3 čerpadla o výkonu 3150 kW, transformátor 6/04 kV a dále rozvodna R1 pro VE Hněvkovice. VE se skládá ze 2 synchronních alternátorů, každý o výkonu 5,4 MVA.

Pro výpočet byly využity maximální zkratové proudy v rozvodně 110kV AEA Kočín. Předpoklady pro výpočet v souladu s normou ČSN 60909-0:

- Jsou uvažovány maximální zkratové poměry v R110kV AEA Kočín
- V souladu s provozním předpisem je uvažován provoz 2 čerpadel na rozvodně BCG (2 x 3150kW)
- Je uvažován provoz obou synchronních generátorů na rozvodně VE Hněvkovice (2 x 5,4MVA), vyvedení výkonu uvažováno do R6kV, kde jsou v provozu čerpadla.
- Je použit napěťový součinitel  $c_{\max}$  dle tabulky 1 v ČSN 60909-0.

#### Pro minimální zkratový proud

Pro výpočet použity hodnoty minimálních zkratových proudů v rozvodně 110kV AEA Kočín. Předpoklady pro výpočet v souladu s normou ČSN 60909-0:

- Jsou uvažovány minimální zkratové poměry v R110kV AEA Kočín.
- Není uvažován vliv asynchronních motorů.
- Není uvažován provoz synchronních generátorů VE Hněvkovice.
- Je použit napěťový součinitel  $c_{\min}$  dle tabulky 1 v ČSN 60909-0.

### 5.1.3 Kontrola koeficientů ochran

#### Koeficient citlivosti ochran

Ochrany musí být dostatečně citlivé vzhledem k nejnepříznivějším poruchovým stavům. Pro případ výpočtu této sítě se jedná o minimální zkratové proudy na chráněném úseku. Při nastavení je nutno počítat s chybou při výpočtu minimálních zkratových proudů a s chybou vlastního nastavení ochrany. Z hlediska selektivity jsou uvažovány následující základní koeficienty citlivosti pro rozvod vn a vvn:

- Okamžité nadproudové číslo  $k_c = 2,0$
- Nadproudové časově zpožděné ochrany  $k_c = 1,5$
- Záložní ochrany  $k_{czal} = 1,2$

#### Koeficient bezpečnosti ochran

Pro správné nastavení musí ochrana dostatečně rozlišovat mezi minimálními zkratovými a maximálními provozními stavy (ochrana nesmí reagovat při maximálních provozních stavech). Norma OEG 384056 definuje poměr mezi nastavením ochrany a maximálním provozním proudem jako tzv. koeficient bezpečnosti. Jeho hodnota je udávána v rozmezí  $k_b=1,1-1,3$ . Tato hodnota se musí volit s ohledem na maximální zápornou toleranci  $T(-)$  ochrany.

#### Koeficient selektivity

Selektivitou rozumíme vypnutí pouze úseku (zařízení) postiženého poruchou, aby byl možný provoz zbylého úseku (zařízení) nepostiženého poruchou. Selektivita se zajišťuje následujícími způsoby:

- Selektivním časovým odstupňováním

Dle normy OEG 38 4065 je stanoven časový stupeň selektivity mezi ochranami takto:

Vypínací čas vypínače předcházejícího úseku

- + max. kladná chyba časového členu ochrany předcházejícího úseku
- + max. záporná chyba časového členu následující (nadřazené) ochrany
- + záložní čas

- Selektivita úrovní charakteristické veličiny

Odstup nastavení spouští vychází z maximálních tolerancí jednotlivých zkratových ochran popř. spouští. Koeficient minimálního odstupu  $k_0$  se určuje ze vstahu:



$$k_0 = \frac{T_2(+)}{T_1(-)}$$

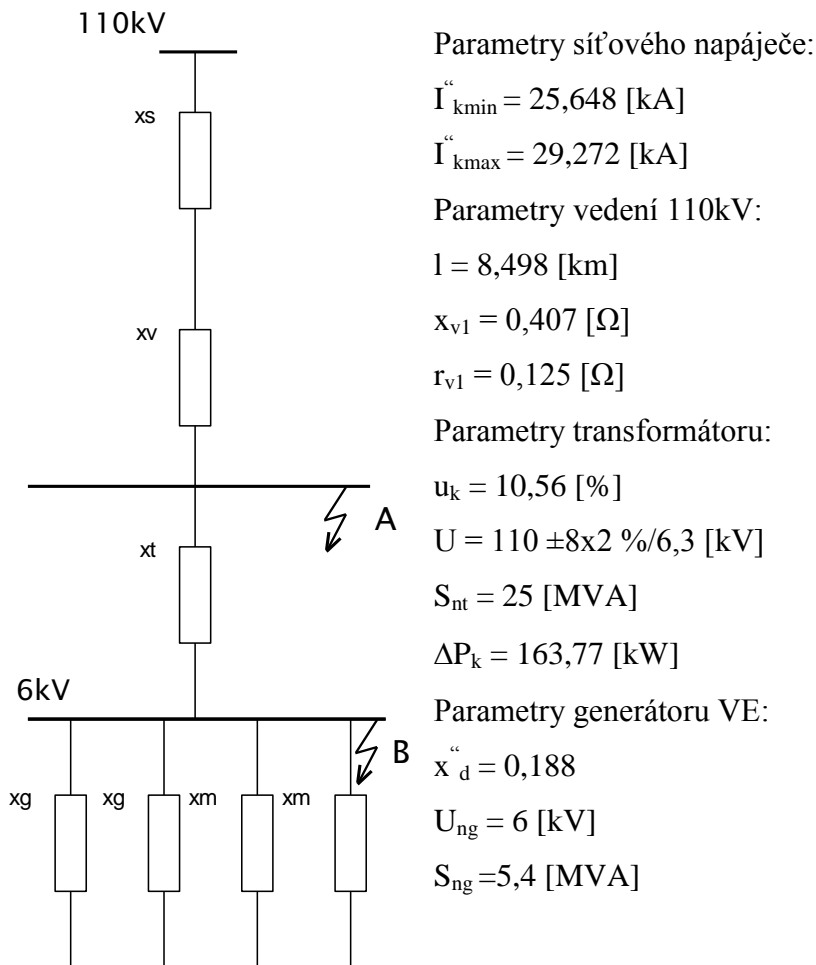
$T_2(+)$  - max. kladná chyba následující ochrany

$T_1(-)$  - max. záporná chyba nadřazené ochrany

- Selektivita logickým blokováním ochran

Používá se pro redukování časového nastavení řetězce ochran.

### Schéma náhradního zapojení a parametry prvků v síti



Obrázek 5-1: Náhradní schéma obvodu

Parametry motorů:

Pomocí normy [9] bylo odvozeno:

$$R_m = 0,0654 \text{ } [\Omega]$$

$$X_m = \frac{R_m}{0,15} = \frac{0,0654}{0,15} = 0,436 \text{ } [\Omega] \quad (5.1)$$

### 5.1.4 Výpočet zkratových poměrů

**Pro zkrat v místě A:**

Síťový napaječ:

Pro  $I''_{k\max}$ :

$$Z_{Q\max A} = \frac{c \cdot U_{ns}}{\sqrt{3} \cdot I''_{k\max}} = \frac{1,1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 29,272} = 2,387[\Omega] \quad (5.2)$$

Z normy [9]

$$X_{Q\max A} = 0,995 \cdot Z_{Q\max A} = 2,375[\Omega] \quad (5.3)$$

$$R_{Q\max A} = 0,1 \cdot X_{Q\max A} = 0,237[\Omega]$$

$$\overline{Z_{Q\max A}} = 0,237 + j2,375[\Omega] \quad (5.4)$$

Pro  $I''_{k\min}$ :

$$Z_{Q\min A} = \frac{c \cdot U_{ns}}{\sqrt{3} \cdot I''_{k\min}} = \frac{1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 25,648} = 2,476[\Omega] \quad (5.5)$$

Z normy [9]

$$X_{Q\min A} = 0,995 \cdot Z_{Q\min A} = 2,464[\Omega] \quad (5.6)$$

$$R_{Q\min A} = 0,1 \cdot X_{Q\min A} = 0,246[\Omega] \quad (5.7)$$

$$\overline{Z_{Q\min A}} = 0,246 + j2,464[\Omega] \quad (5.8)$$

Transformátor T<sub>101</sub>:

$$Z_{T101A} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{nT101}^2}{S_{nT101}} = 0,1056 \cdot \frac{(110 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} = 51,1104[\Omega] \quad (5.9)$$

Činná a jalová složka vypočtená pomocí  $u_k$  a  $\Delta P_k$ .

$$e_r = \frac{\Delta P_k}{S_{nT101}} = \frac{163,77 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^6} = 6,5508 \cdot 10^{-3} \quad (5.10)$$

$$e_r^2 + e_x^2 = e^2 \quad (5.11)$$

$$e_x = \sqrt{e^2 - e_r^2} = \sqrt{0,1056^2 - (6,5508 \cdot 10^3)^2} = 0,1054[\Omega]$$

$$\overline{Z_{T101A}} = e_r \cdot \frac{U_{nT101}^2}{S_{T101}} + j e_x \cdot \frac{U_{nT101}^2}{S_{T101}}$$

$$\overline{Z_{T101A}} = 6,5508 \cdot 10^3 \cdot \frac{(110 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} + j 0,1054 \cdot \frac{(110 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} = 3,1706 + j 51,0136[\Omega]$$

$$\Rightarrow |\overline{Z_{T101A}}| = 51,11 \angle 86^\circ [\Omega]$$

(5.12)

Synchronní generátory:

$$X_{gA} = x_d'' \cdot \frac{U_{ng}^2}{S_{ng}} \cdot \frac{1}{p^2} = 0,188 \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{5,4 \cdot 10^6} \cdot \left(\frac{110}{6}\right)^2 = 421,148[\Omega] \quad (5.13)$$

Z normy [9]

$$R_G = 0,07 \cdot X_G = 0,07 \cdot 421,259 = 29,488[\Omega] \quad (5.14)$$

$$\overline{Z_{GA}} = 29,688 + j 421,259[\Omega] \quad (5.15)$$

Do přípojnice 6kV jsou připojeny 2 stejné generátory.

$$\overline{Z_{GcA}} = \frac{\overline{Z_{GA}}}{2} = 14,744 + j 210,6295[\Omega] \quad (5.16)$$

$$\Rightarrow |\overline{Z_{GcA}}| = 211,154 \angle 85^\circ [\Omega]$$

Asynchronní čerpadla:

Pro výpočet použita norma [9].

$$R_{m1} = 0,0654[\Omega] \quad (5.17)$$

$$X_{m1} = \frac{R_{m1}}{0,15} = \frac{0,0654}{0,15} = 0,436[\Omega] \quad (5.18)$$

Přepočet přes transformátor T<sub>101</sub>:

$$R_m = R_{m1} \cdot \frac{1}{p^2} = 0,0654 \cdot \left(\frac{110}{6}\right)^2 = 21,982[\Omega] \quad (5.19)$$

$$X_m = X_{m1} \cdot \frac{1}{p^2} = 0,436 \cdot \left(\frac{110}{6}\right)^2 = 146,544[\Omega] \quad (5.20)$$

$$\overline{Z_{mA}} = 29,982 + j 146,544[\Omega] \quad (5.21)$$

Do přípojnice 6kV jsou připojeny 2 stejná čerpadla.

$$\overline{Z_{mcA}} = \frac{\overline{Z_{mA}}}{2} = 10,991 + j73,272[\Omega] \quad (5.22)$$

$$\Rightarrow |\overline{Z_{Gc}}| = 74,092 \angle 84^\circ [\Omega]$$

**Vedení:**

$$X_{vA} = l \cdot x_v = 8,498 \cdot 0,407 = 3,4587[\Omega] \quad (5.23)$$

$$R_{vA} = l \cdot r_v = 8,498 \cdot 0,125 = 1,0623[\Omega] \quad (5.24)$$

$$\overline{Z_{vA}} = 1,0623 + j3,4587[\Omega] \quad (5.25)$$

**Výpočet  $I''_{kmaxA}$ :**

$$\overline{Z_{1A}} = \overline{Z_v} + \overline{Z_{QmaxA}} = (1,0623 + j3,4587) + (0,246 + j2,464) = 1,3244 + j6,0797$$

$$\Rightarrow |\overline{Z_{1A}}| = 6,22 \angle 77^\circ \quad (5.26)$$

$$\overline{Z_{2A}} = \frac{\overline{Z_{GcA}} \cdot \overline{Z_{mcA}}}{\overline{Z_{GcA}} + \overline{Z_{mcA}}} = 7,026 + j54,427[\Omega] \Rightarrow |\overline{Z_{2A}}| = 54,879 \angle 82^\circ [\Omega] \quad (5.27)$$

$$\overline{Z_{2cA}} = \overline{Z_{2A}} + \overline{Z_{T101A}} = 7,026 + j54,427 + 3,1706 + j51,0136 = 10,197 + j105,44[\Omega] \quad (5.28)$$

$$\Rightarrow |\overline{Z_{2cA}}| = 105,93 \angle 84^\circ [\Omega]$$

$$I''_{kmaxA1} = \frac{c \cdot U_{zkr}}{\sqrt{3} \cdot |\overline{Z_{1A}}|} = \frac{1,1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 6,22} = 11,231kA \quad (5.29)$$

$$I''_{kmaxA2} = \frac{c \cdot U_{zkr}}{\sqrt{3} \cdot |\overline{Z_{2cA}}|} = \frac{1,1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 105,93} = 0,659kA \quad (5.30)$$

$$I''_{kmaxA} = 11,231 + 0,659 = 11,89kA \quad (5.31)$$

**Výpočet  $I''_{kminA}$ :**

$$\overline{Z_{Qv}} = \overline{Z_v} + \overline{Z_{QminA}} = 1,0623 + j3,4587 + 0,28619 + j2,8619 = 1,34879 + j6,3206[\Omega]$$

$$\Rightarrow |\overline{Z_{Qv}}| = 6,463 \angle 77^\circ [\Omega] \quad (5.32)$$

$$I''_{kminA} = \frac{c \cdot U_{zkr}}{\sqrt{3} \cdot |\overline{Z_1}|} = \frac{1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 6,463} = 9,826kA \quad (5.33)$$

**Pro zkrat v místě B:**

Pro  $I''_{kmaxB}$ :

$$Z_{QmaxB} = \frac{c \cdot U_{ns}}{\sqrt{3} \cdot I''_{kmax}} \cdot \frac{1}{p^2} = \frac{1,1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 29,272} \cdot \left(\frac{6}{110}\right)^2 = 7,1 \cdot 10^{-3}[\Omega] \quad (5.34)$$

Z normy [9]

$$X_{Q_{\max B}} = 0,995 \cdot Z_{Q_{\max B}} = 7,0645 \cdot 10^{-3} [\Omega] \quad (5.35)$$

$$R_{Q_{\max B}} = 0,1 \cdot X_{Q_{\max B}} = 7,0645 \cdot 10^{-4} [\Omega] \quad (5.36)$$

$$\overline{Z_{Q_{\max B}}} = 7,0645 \cdot 10^{-4} + j7,0645 \cdot 10^{-3} [\Omega] \quad (5.37)$$

Pro  $I_{k\min B}$ :

$$Z_{Q_{\min B}} = \frac{c \cdot U_{ns}}{\sqrt{3} \cdot I_{k\max}} \cdot \frac{1}{p^2} = \frac{1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot 25,648} \cdot \left( \frac{6}{110} \right)^2 = 7,367 \cdot 10^{-3} [\Omega] \quad (5.38)$$

Z normy [9]

$$X_{Q_{\min B}} = 0,995 \cdot Z_{Q_{\min B}} = 7,33 \cdot 10^{-3} [\Omega] \quad (5.39)$$

$$R_{Q_{\min B}} = 0,1 \cdot X_{Q_{\min B}} = 7,33 \cdot 10^{-4} [\Omega] \quad (5.40)$$

$$\overline{Z_{Q_{\min B}}} = 7,33 \cdot 10^{-4} + j7,33 \cdot 10^{-3} [\Omega] \quad (5.41)$$

Transformátor T<sub>101</sub>:

$$Z_{T_{101B}} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{nT_{101}}^2}{S_{nT_{101}}} = 0,1056 \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} = 0,1521 [\Omega] \quad (5.42)$$

Činná a jalová složka vypočtená pomocí  $u_k$  a  $\Delta P_k$ .

$$e_r = \frac{\Delta P_k}{S_{nT_{101}}} = \frac{163,77 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^6} = 6,5508 \cdot 10^{-3} \quad (5.43)$$

$$e_r^2 + e_x^2 = e^2 \quad (5.44)$$

$$e_x = \sqrt{e^2 - e_r^2} = \sqrt{0,1056^2 - (6,5508 \cdot 10^{-3})^2} = 0,1054 [\Omega] \quad (5.45)$$

$$\overline{Z_{T_{101B}}} = e_r \cdot \frac{U_{nT_{101}}^2}{S_{T_{101}}} + j e_x \cdot \frac{U_{nT_{101}}^2}{S_{T_{101}}} \quad (5.46)$$

$$\overline{Z_{T_{101B}}} = 6,5508 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} + j0,1054 \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} = 9,4332 \cdot 10^{-3} + j0,152 [\Omega]$$

$$\Rightarrow \left| \overline{Z_{T_{101B}}} \right| = 0,152 \angle 86^\circ [\Omega]$$

(5.47)

Synchronní generátory:

$$X_{gB} = x''_d \cdot \frac{U_{ng}^2}{S_{ng}} = 0,188 \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{5,4 \cdot 10^6} = 1,253[\Omega] \quad (5.48)$$

Z normy [9]

$$R_G = 0,07 \cdot X_G = 0,07 \cdot 1,253 = 0,0877[\Omega] \quad (5.49)$$

$$\overline{Z_{GB}} = 0,0877 + j1,253[\Omega] \quad (5.50)$$

Do přípojnice 6kV jsou připojeny 2 stejné generátory.

$$\overline{Z_{GcB}} = \frac{\overline{Z_{GB}}}{2} = 0,04385 + j0,6265[\Omega] \quad (5.51)$$

$$\Rightarrow |\overline{Z_{GcB}}| = 0,628 \angle 85^\circ [\Omega]$$

Asynchronní čerpadla:

Pro výpočet použita norma [9].

$$R_{m1} = 0,0654[\Omega] \quad (5.52)$$

$$X_{m1} = \frac{R_{m1}}{0,15} = \frac{0,0654}{0,15} = 0,436[\Omega]$$

$$\overline{Z_{mB}} = 0,0654 + j0,436[\Omega] \quad (5.53)$$

Do přípojnice 6kV jsou připojeny 2 stejná čerpadla.

$$\overline{Z_{mcB}} = \frac{\overline{Z_{mB}}}{2} = 0,0327 + j0,218[\Omega] \quad (5.54)$$

Vedení:

$$X_{vB} = l \cdot x_v \cdot \frac{1}{p^2} = 8,498 \cdot 0,407 \cdot \left(\frac{6}{100}\right)^2 = 0,0103[\Omega] \quad (5.55)$$

$$R_{vB} = l \cdot r_v \cdot \frac{1}{p^2} = 8,498 \cdot 0,125 \cdot \left(\frac{6}{100}\right)^2 = 3,16 \cdot 10^{-3}[\Omega] \quad (5.56)$$

$$\overline{Z_{vB}} = 3,16 \cdot 10^{-3} + j10,3 \cdot 10^{-3}[\Omega] \quad (5.57)$$

Výpočet  $I_{kmaxB}$ :

$$\overline{Z_{1B}} = \overline{Z_{vB}} + \overline{Z_{QmaxB}} + \overline{Z_{T101B}} = (3,16 \cdot 10^{-3} + j10,3 \cdot 10^{-3}) + (7,0645 \cdot 10^{-4} + j7,0645 \cdot 10^{-3}) + (9,4332 \cdot 10^{-3} + j0,152) = 0,0101 + j0,1591[\Omega]$$

$$\Rightarrow |\overline{Z_{1B}}| = 0,1594 \angle 86^\circ [\Omega]$$

(5.58)

$$\overline{Z}_{2B} = \frac{\overline{Z}_{GcB} \cdot \overline{Z}_{mcB}}{\overline{Z}_{GcB} + \overline{Z}_{mcB}} = 0,0209 + j0,1619[\Omega] \Rightarrow |\overline{Z}_{2B}| = 0,1633 \angle 82^\circ [\Omega] \quad (5.59)$$

$$I''_{k \max B1} = \frac{c \cdot U_{zkr}}{\sqrt{3} \cdot |\overline{Z}_{1B}|} = \frac{1,1 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 0,1594} = 23,91 \text{ kA} \quad (5.60)$$

$$I''_{k \max B2} = \frac{c \cdot U_{zkr}}{\sqrt{3} \cdot |\overline{Z}_{2B}|} = \frac{1,1 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 0,1633} = 23,33 \text{ kA} \quad (5.61)$$

$$I''_{k \max B} = 23,91 + 23,33 = 47,24 \text{ kA} \quad (5.62)$$

Výpočet  $I''_{k \min B}$ :

$$\begin{aligned} \overline{Z}_{1B} &= \overline{Z}_{vB} + \overline{Z}_{Q \max B} + \overline{Z}_{T101B} = (3,16 \cdot 10^{-3} + j10,3 \cdot 10^{-3}) + (7,33 \cdot 10^{-4} + j7,33 \cdot 10^{-3}) + \\ &+ (9,4332 \cdot 10^{-3} + j0,152) = 0,0133 + j0,1696 [\Omega] \\ \Rightarrow |\overline{Z}_{1B}| &= 0,1702 \angle 85^\circ [\Omega] \end{aligned} \quad (5.63)$$

$$I''_{k \min B1} = \frac{c \cdot U_{zkr}}{\sqrt{3} \cdot |\overline{Z}_{1B}|} = \frac{1 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 0,1702} = 20,35 \text{ kA} \quad (5.64)$$

**Zkratové proudy přepočtené přes PTP**  $p = \frac{I_2}{I_1} = \frac{5}{200} = \frac{1}{40}$

Místo zkratu	$I''_{k \max}$ [kA]	$I''_{k \min}$ [kA]
<b>A</b>	0,297	0,246
<b>B</b>	1,181	0,508

Tabulka5-1: Zkratové proudy přepočtené přes PTP

## 5.2 Nastavení ochran

### Nadproudová ochrana při přetížení

Tato ochrana slouží pro signalizaci při přetížení transformátoru. Nastavení:

$$I = 0,8I_n = 4 \text{ A}_{\text{sek}} \text{ (tj. } 160 \text{ A}_{\text{prim}})$$

$$t = 3 \text{ s}$$

Současná norma PNE 38 4065 uvádí, že nastavení nadproudové ochrany má být:

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_{ntr}}{k_p \cdot p_p} [A] \quad (5.65)$$

Kde

$I_r$  - sekundární nastavení ochrany

- $k_b$  - koeficient bezpečnosti ( $k_b = 1,1$  až  $1,35$ )  
 $k_p$  - přídržný poměr ochrany  
 $p_p$  - převod PTP

Dosazení hodnot:

$$K_b=1,05; K_p=0,85; P_{PTP}=40; I_{n1}=131 \text{ [A]}; I_{nOCHR}=5 \text{ [A]}; I_{n2}=3.275 \text{ [A]}$$

$$I_r \geq \frac{1,05 \cdot 131}{0,85 \cdot 40} \geq 4,046 A_{sek} \quad (tj. 161,84 A_{prim}) \quad (5.66)$$

$$\frac{I_r}{I_{n2}} = 1.24 \quad (5.67)$$

### Nadproudová zkratová ochrana (primární)

Ochrana sloužící jako místní záloha rozdílové ochrany transformátoru. Dále tvoří vzdálenou zálohu zkratových ochran na jednotlivých vývodech z rozvodny.

$$I = 1 I_n 5 A_{sek} \quad (tj. 200 A_{prim} \text{ na hladině } 110kV \text{ nebo přibližně } 3492 A_{prim} \text{ na hladině } 6,3kV)$$

$$t = 2 \text{ s}$$

Pro dané nastavení je zajištěn koeficient bezpečnosti přibližně  $K_b = 1,3$  (respektujeme přídržný poměr ochrany  $K_p = 0,85$ ) při uvažovaném maximálního provozního proudu  $I_{max} = 2043 \text{ A}$ , který odpovídá rozběhu druhého čerpadla, při běžném zatížení viz tabulka 5.1. Koeficient citlivosti  $k_c = 4,37$  (pro minimální průchozí zkratový proud na rozvodně), koeficient citlivosti  $k_{czal} = 4,08$  (pro minimální průchozí zkratový proud pro zkrat na nejhorším vývodu rozvodna R1 VE Hněvkovice)

	Proud [A]
Transformátor BHW1	60
Transformátor BHW2	60
VE Hněvkovice	10
Čerpadlo v chodu	348
Start druhého čerpadla	1565
Celkem	2043

Tabulka 5-2

$$I_r = \frac{K_b \cdot I_{n1}}{K_p \cdot P_{PTP}} = 5,009[A] \quad (5.68)$$

$$\frac{I_r}{I_{n2}} = 1.53 \quad (5.69)$$



**Podpět'ová ochrana – V15**

Tato ochrana slouží pro odblokování zkratové ochrany při podpětí na rozvodně.

Nastavení ochrany:

$$U = 0,75 U_n = 75 V_{\text{sek}} \text{ (tj. } 4500 V_{\text{prim}})$$

Koeficient bezpečnosti přibližně  $k_b = 1,3$  (při respektování přídržného poměru  $k_p = 1,1$ ) pro podpětí  $0,9 U_n$ , odpovídající rozběhu druhého čerpadla při běžném zatížení.  $P_{MTN}=60$ ;  $U_{\min 1}=5292$  [V](-8x2%);  $U_{\min 2}=88,2$  [V]

$$U_r = \frac{U_{\min 1} \cdot K_p}{K_b \cdot P_{MTN}} = 74,6[\text{V}] \quad (5.70)$$

$$\frac{U_r}{U_{\min 2}} = 0,85 \quad (5.71)$$

**Rozdílová ochrana – RAX 1**

Tato ochrana tvoří základní ochranu transformátoru proti vnitřním poruchám. Nastavení ochrany je následující:

$$i_r = 0,4$$

Manuál pro tuto ochranu z roku 1986 uvádí následující vzorec pro výpočet seřízení ochrany:

$$i_r = \frac{3}{2 \cdot I_n} \cdot \left( \frac{I_{pn}}{p_p} - \frac{I_{kn}}{p_k} \right) + 0,2 \quad (5.72)$$

kde

$i_r$  - poměrná hodnota nastavení udaná na stupnici ochrany

$I_n$  - jmenovitý efektivní proud ochrany [A]

$I_{pn}$  - jmenovitý efektivní vstupní proud [A]

$I_{kn}$  - jmenovitý efektivní výstupní proud [A]

$p_p$  - převod PTP na vstupu

$p_k$  - převod PTP na výstupu

V případě PTP zapojeného do trojúhelníka, což je tento případ, za převod se dosazuje  $p / \sqrt{3}$ .

Za jmenovitý vstupní proud se dosazuje hodnota proudu při nastavení odbočky -8x2%, udávající největší provozní rozdílový proud, na který by ještě neměla ochrana reagovat.

Dosazení konkrétních hodnot:

$$i_r = \frac{3}{2 \cdot I_n} \cdot \left( \frac{156,2}{\frac{40}{\sqrt{3}}} - \frac{2291}{400} \right) + 0,2 = 0,508 \quad (5.73)$$

Nastavení je citlivější než uvádí tento vzorec. Hodnota je ponechána, jelikož s provozem ochrany nebyly problémy (podle vzorce by se na ochraně nastavila nejbližší možná hodnota  $i_r=5$ ).

### Kontrola PTP

Přístrojové transformátory proudu se kontrolují, pro jejich správné dimenzování, aby nedocházelo k jejich přesycení ss složkou zkratového proudu. V tomto případě by mohla ochrana chybně (nadbytečně) působit v případě průchozího zkratu.

Výpočet byl proveden pomocí vzorce, který udává minimální požadované nadproudové číslo pro věrný přenos ss složky přes PTP:

$$n' = 0,7 \cdot \frac{X}{R} \cdot \frac{I_k}{I_n} \quad (5.74)$$

Kde

- $n'$  - minimální požadované nadproudové číslo PTP
- $X$  - reaktance zkratového obvodu [ $\Omega$ ]
- $R$  - činný odpor zkratového obvodu [ $\Omega$ ]
- $I_k$  - maximální zkratový proud [A]
- $I_n$  - jmenovitý primární proud PTP [A]

Vzorec pro skutečné nadproudové číslo:

$$n' = n \cdot \frac{R_B \cdot R_2}{R_2 \cdot R_S} \quad (5.75)$$

Kde

- $n'$  - skutečné nadproudové číslo PTP
- $n$  - jmenovité nadproudové číslo PTP (na štítku)
- $R_B$  - odpor odpovídající jmenovité zátěži [ $\Omega$ ]
- $R_2$  - odpor na sekundární straně PTP [ $\Omega$ ]
- $R_S$  - odpor vedení mezi PTP a ochranou + odpor vstupních obvodů ochrany

[ $\Omega$ ]

Místo zkratu	Typ zkratu	PTP	Požadované nadproudové číslo	Skutečné nadproudové číslo	Výsledek
A	vnitřní	D	180,45	20,58	Nevyhov.
A	vnitřní	B	25,88	38,92	Vyhov.
B	průchozí	D	52,48	20,58	Nevyhov.
B	průchozí	B	87,28	38,92	Nevyhov.

Tabulka 5-3: Tabulka výsledků kontroly

Výpočet byl proveden pro vnitřní poruchu na straně 110kV a pro průchozí poruchu na straně 6,3 kV. Z výsledků je vidět že může dojít přesycení PTP D na straně 110kV. V tomto případě však má rozdílová ochrana reagovat a proto nám případné přesycení nevadí. Problém může nastat při přesycení při průchozí poruše, což může způsobit nadbytečné zapůsobení rozdílové ochrany.

Ochrana	Funkční značení	Působení, porucha	AEC2-QM1		BCG7	SIG.	Poznámka
			A	B			
RAX1	F1F30	Rozdílová	●		○	H30	
AT31X	F2F11	Nadproudová zkratová		○	○	H11	
AT12X	F3F13	Nadproudová přetížení				H13	
V15	F4F37	Podpěťová					Uvolňuje AT31X
B1,B2	K3	Buchholz vypnutí-nádoba+přep.		○	○	H241	
B3	K4	Nebezpečná teplota	●		○	H24	
SQM	K2	Nesouhlas pólů vypínače 110kV	●	○		H632	Blokuje zapnutí vypínače 110kV
AT31X	K8	Blokování Regulatoru HRT4					Od popudu AT31X
ER723 V2,V3	KA26 KA27	Působení HZO BCG7	●	○	○	H18	

Tabulka 5-4: Vypínací tabulka elektrických ochran transformátoru T101

### 5.3 Výběr nového digitálního chránění

#### Zaměňované ochrany transformátoru T101

- **Nadproudová ochrana při přetížení – AT12X**

Ochrana slouží pro signalizaci na dozornu při přetížení transformátoru.

- **Nadproudová zkratová ochrana (primární) – AT31X**

Ochrana slouží jako místní záloha pro rozdílovou ochranu transformátoru a je uvolňována podpět'ovou ochranou V15 nebo vypnutým vypínačem v R6kV 0BCG. Ochrana působí na vypnutí vypínače 110kV a na vypnutí přívodu do R6kV 0BCG pole č.7. Ochrana signalizuje působení na dozornu.

- **Podpět'ová ochrana – V15**

Ochrana slouží pro odblokování zkratové ochrany AT31X při podpětí na rozvodně R6kV.

- **Rozdílová ochrana – RAX 1**

Rozdílová ochrana je základní ochranou transformátoru pro vnitřní poruchy transformátoru. Ochrana působí na vypnutí vypínače 110kV a na vypnutí přívodu R6kV 0BCG pole č. 7. Ochrana signalizuje působení na dozornu.

#### **Doplňované ochranné funkce pro transformátor**

Dle normy ČSN 33 3051, která uvádí jaké ochrany je pro určitý zdánlivý výkon transformátoru nutno použít, je třeba doplnit následující ochranné funkce.

- **Zemní nádobová ochrana**

Pro účely této ochrany je třeba instalovat průvlekový PTP pro připojení k ochraně a izolovat nádobu od uzemněných konstrukcí rozvodny, což je u transformátoru T101 splněno. Dále je třeba doplnit kabely pro připojení průvlekového transformátoru proudu na stanovišti transformátoru T101 k zemní nádobvé ochraně. Ochrana působí na odpojení transformátoru z obou směrů napájení, tzn. vypnutí příslušného vypínače 110kV i vypínače 6kV. Ochrana signalizuje působení na dozornu.

- **Nadproudová zkratová ochrana (sekundární strany 6,3kV)**

Ochrana působí na odpojení transformátoru z obou směrů jako ochrana předchozí a také signalizuje působení na dozornu.

- **Nadpět'ová ochrana na sekundární straně transformátoru**

Tato ochrana působí na blokování regulátoru napětí ve směru zvyšování napětí a signalizuje působení na dozornu.

#### Rozdělení jednotlivých ochranných funkcí do terminálů

Aby byla zajištěna diverzita a eliminace poruch, budou jednotlivé ochranné funkce

rozděleny do dvou samostatných digitálních terminálů – systém A a systém B.

Název	Systém ochran	Poznámka
Rozdílová ochrana	A	
Nadproudová zkratová ochrana (primární)	B	
Nadproudová ochrana při přetížení	B	
Podpěťová ochrana	B	
Nadproudová zkratová ochrana (sekundární 6,3kV)	B	Nově doplňovaná ochranná funkce
Zemní nádobová ochrana	B	Nově doplňovaná ochranná funkce
Napěťová ochrana na sekundární straně	B	Nově doplňovaná ochranná funkce

**Tabulka 5-5: Přirazení ochranných funkcí systému ochran A a B.**

### **Porovnání digitálních ochran**

Byly vzaty v úvahu ochrany firem, které mají s výrobou ochran dlouholetou zkušenost a mají nejlepší reference.

#### **SIPROTEC 7UT612 (SIEMENS) [10]**

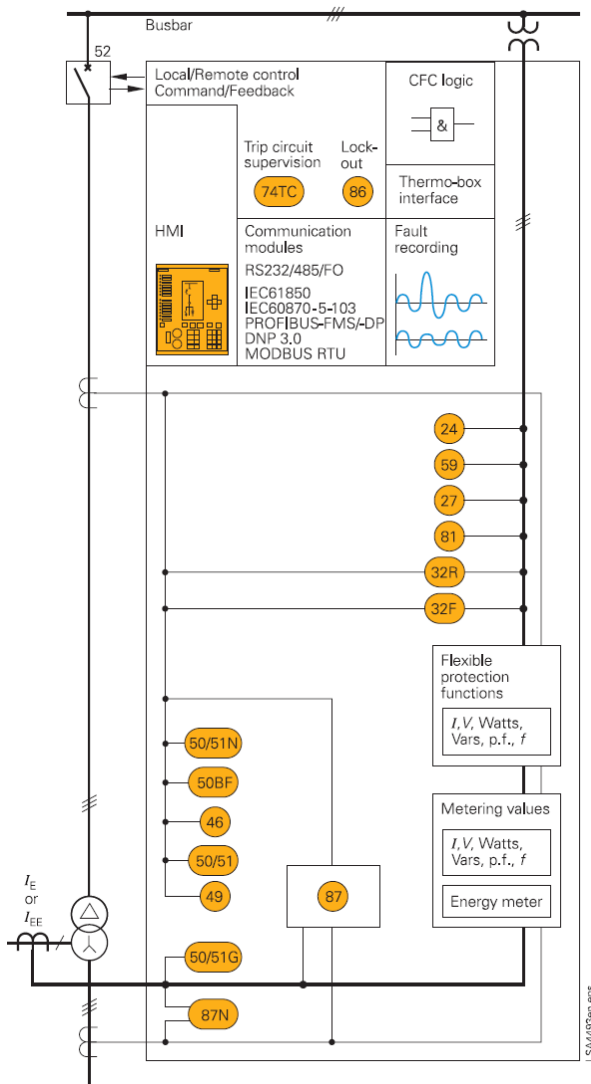
Digitální rozdílová ochrana SIPROTEC 7UT612 umožňuje rychlé a selektivní odstraňování zkratových poruch u dvouvinutých transformátorů všech napěťových úrovní. Dále je i vhodná pro rotační stroje jako jsou motory a generátory, pro krátká vedení a přípojnice do 7 vývodů.

Mimo diferenciální funkci je v ochraně integrována záložní nadproudová ochrana pro jedno vinutí nebo uzel. Volitelně může být použita nízkoimpedanční nebo vysokoimpedanční rozdílová zemní ochrana a automatika selhání vypínače. Ochrana využívá externí monitorovací boxy (RTD-boxy), díky kterým mohou být měřeno či monitorováno až 12 teplot.

Ochrana se zapojuje na sadu proudových transformátorů vyšší a nižší strany silového transformátoru.



Obrázek 5-2: Digitální rozdílová ochrana SIPROTEC 7UT612



Obrázek 5-3: Funkční diagram

### Vlastnosti ochrany SIPROTEC

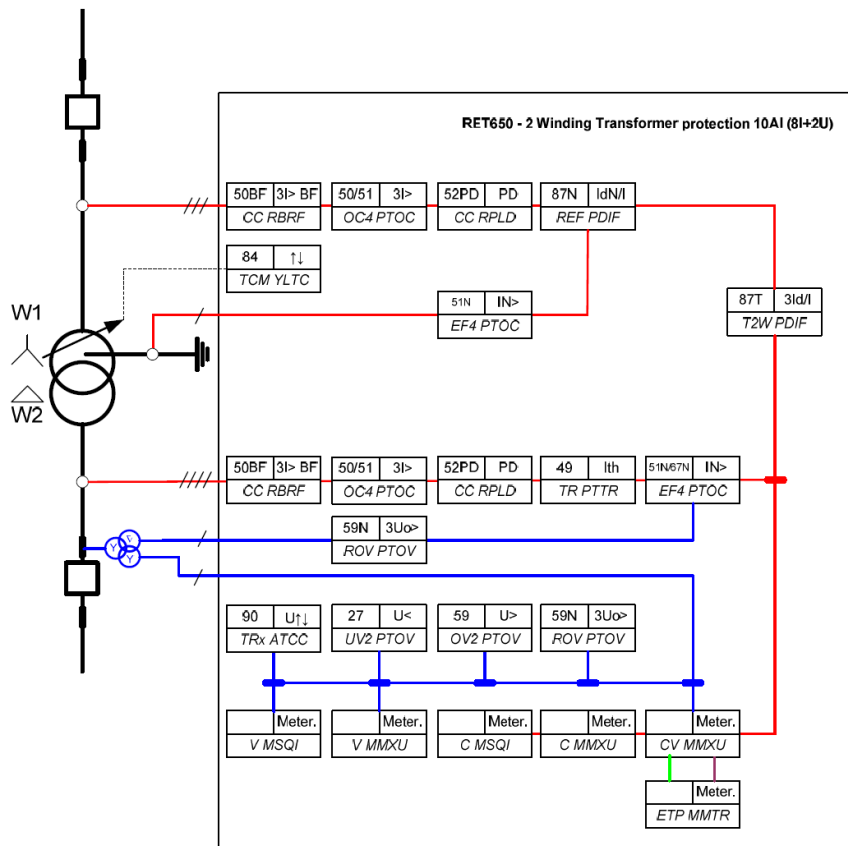
- Proudově stabilizovaná vypínací charakteristika
- Stabilizace proti přechodným nebo trvalým poruchovým proudům, které jsou způsobeny např.: přeregulací, s nastavitelnou další harmonickou (3., nebo 5. Harmonická)
- Stabilizace proti zapínacímu proudu pomocí 2. harmonické
- Necitlivost proti stejnosměrné složce a přesycení PTP, vysoká stabilita při rozdílném sycení PTP
- Rychlé vypnutí při těžkých zkratech v transformátoru
- Nezávislost na zapojení uzlu hvězdy transformátoru
- Vnitřní přizpůsobení skupině spojení transformátoru, převodu transformátoru se zohledněním rozdílných jmenovitých proudů PTP
- Zvýšená citlivost zemních poruch, při detekci zemních proudů uzemněného vinutí transformátoru

### Relion 650 (ABB) [11]

Tato ochrana je určena pro oblasti nižších přenosových sítí, typicky sítí 110 kV. K práci s terminálem se využívá nástroj PCM600.



Obrázek 5-4: Digitální rozdílová ochrana Relion 650



Obrázek 5-5: Funkční diagram

### Vlastnosti ochrany Relion 650

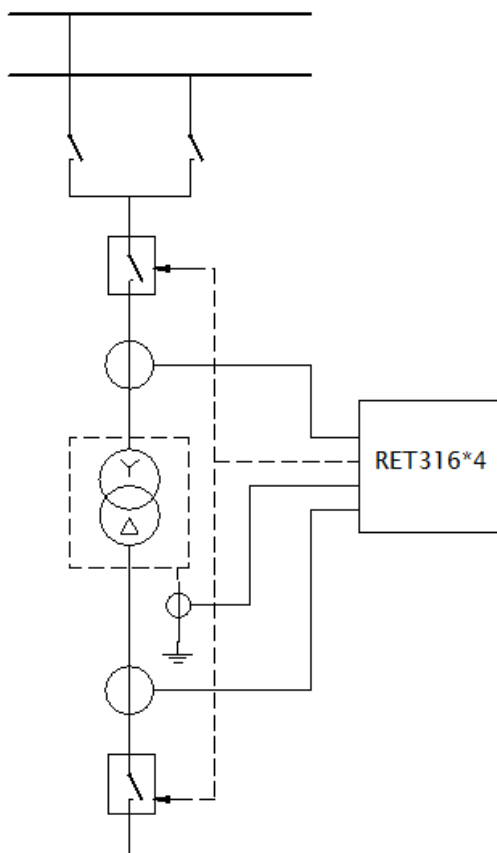
- Rozšířené možnosti lokálního HMI
- 15 dynamických a volně konfigurovatelných LED ve 3 barvách a na třech stranách
- 5 konfigurovatelných tlačítek
- Rozšířené možnosti hlídání (stavu vypínače, stavu vypínací cesty, napájení terminálu)
- Hlavní ochrana
- Velká řada záložních ochran
- Podporuje třífázové vypínání
- Modulární řešení (malé množství náhradních dílů, jednotný firmware, snadné doplnění HW)
- Vstupy a výstupy (10 nebo 20 analogových vstupů s rozdílným počtem U a I, konektor pro proudové vstupy je samozkratovací, hodnota proudových vstupů 5/1 A nastavitelná softwarově, napěťové vstupy až do 220V, 14-50 binárních vstupů, 9-45 binárních výstupů)



## RET 316\*4 (ABB) [12]



Obrázek 5-6: Digitální rozdílová ochrana RET 316\*4



Obrázek 5-7: Schéma zapojení

### Vlastnosti

- Třífázová diferenciální funkce pro dvouvinutové nebo trojvinutové transformátory
- Proudová kompenzace převodů proudových transformátorů a kompenzace fáze
- Programovatelné vstupy a výstupy umožňují začlenit externí ochranná zařízení (Buchholz, teplota, atd.) do systému vypínání a signalizace
- Nadproudový stupeň v diferenciálním obvodu

- Funkce tepelného přetížení
- Frekvenční funkce
- Trvale pracující systém samočinného monitorování HW vybavní
- Čtyři nezávislé uživatelem volitelné sady nastavení

## 6 Závěr

Transformátory patří k nejdražším prvkům přenosové a rozvodné soustavy. Výpadky transformátorů přinášejí větší škody, než když vypadne například nějaké vedení. Z těchto důvodů je nutné věnovat zvýšenou pozornost jejich chránění.

Diplomová práce popisuje transformátorovou koncepci, na kterou by se nemělo zapomínat a měl by být kladen důraz na výběr správných transformátorů koncepčně se hodících do stávající sítě. Transformátorová koncepce má příznivý vliv na stabilitu sítě a na následné zvládnutí poruch v dané síti.

Dále je vytvořen přehled principů technických řešení chránění transformátorů v energetice, kde jsou analyzovány možné poruchové stavy, principy a systémy chránění transformátorů.

Poslední část diplomové práce je věnována návrhu systému digitálních ochran pro transformátor 110/6,3kV, jedná se konkrétně o transformátor v čerpací stanici Hněvkovice, která zásobuje surovou vodou jadernou elektrárnu Temelín. Systém ochran byl navržen dle platné normy ČSN 33 3051 z roku 2000, kde je uvedené že transformátory s výkonem  $S_n \geq 25\text{MVA}$  mají být vybaveny dalšími ochranami, jak je popsáno výše včetně výpočtů a nastavení.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HOCHMAN, P., J. BERMAN, J. MACHOŇ, B. CICHONĚ a R. GRYM. *Chránění II: elektrická zařízení vysokého napětí chránění zařízení v průmyslu*. KN050000781. U Stomovky 62,736 01 Havířov: IRIS, 2004. ISBN 80-903540-0-9.
- [2] BERMANN, Jiří. *Transformátorová koncepce ČR+SR způsoby zemnění uzlu: Konference ČK CRIED*. 2006.
- [3] BERMANN, Jiří. *TRANSFORMÁTOROVÁ KONCEPCE ČR+SR, způsoby zemnění uzlů: KONCEPCE SELEKTIVITY REGULACE NAPĚTÍ ODBOČKAMI TRANSFORMÁTORŮ*. 2006.
- [4] GABRIELA, Tichá. *Elektrická část JE VVER 1000: UČEBNÍ TEXTY PRO PŘÍPRAVU PERSONÁLU JE*. ČEZ, 2010.
- [5] KAMIL, Houška a Trubka ONDŘEJ. *SYSTÉMOVÝ PROVOZNÍ PŘEDPIS 2TS420, Jaderná elektrárna Temelín: PROVOZNÍ PŘEDPIS PRO SYSTÉM NEZAJIŠTĚNÉHO NAPÁJENÍ III. KATEGORIE*. ČEZ, a.s., 2011.
- [6] ŠKODA PRAHA. *Akce ST16A982, 10982 - Rekonstrukce R110/6kV ČS Hněvkovice: Posouzení technického řešení z hlediska selektivity a nastavení ochran*. 2006.
- [7] JANÍČEK, František, Vladimír CLADNÝ, Žaneta ELSCHOVÁ a Anton BELÁŇ. *Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave*. Slovenská technická univerzita v Bratislavě: Mercury - Smékal, 2003. ISBN 80-89061-73-7.
- [8] ČSN 33 3051. *Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení*. ČR: Sagit, 1992.

- [9] IEC 60909 – 0: 2002. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – část 0: Výpočet proudů. idt IEC 6090-0:2001 + idt IEC 60909-0:2001/ Cor. 1 :2002-02*
- [10] SIPROTEC 7UT612, *Příručka pro rozdílovou ochranu, Siemens 2002, C53000-G1100-C148-1*
- [11] PROCHÁZKA, Martin. *Seminář Novinky portfolia ABB: Ochranné a ovládací terminály řady 650. 2009.*
- [12] ABB. *Číslicový systém chránění transformátoru. 2000.*

# Přílohy

## Příloha A - 1

AEC  
R 110kV

3~ 50Hz, 110kV  
25/63kA

