

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**CHRÁNĚNÍ TRANSFORMÁTORU ROZDÍLOVOU
OCHRANOU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

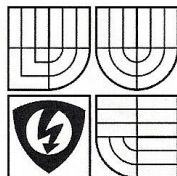
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MILOSLAV SVOBODA

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Miloslav Svoboda

Ročník: 3

ID: 106798

Akademický rok: 2009/10

NÁZEV TÉMATU:

Chránění transformátoru rozdílovou ochranou

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Poruchové stavy
2. Rozdílové ochrany a přístrojové transformátory proudu
3. Návrh nastavení rozdílové ochrany pro zadaný transformátor

DOPORUČENÁ LITERATURA:


podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 31.5.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:


doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

SVOBODA, M. Chránění transformátoru rozdílovou ochranou. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010, 73 stran

Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu. Zároveň chci poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Petru Tomanovi Ph.D, firmám ABB Česká republika a Siemens Bratislava za odbornou konzultaci.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky**

Bakalářská práce

Chránění transformátoru rozdílovou ochranou

Miloslav Svoboda

vedoucí: doc. Ing. Petr Toman Ph.D

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2010

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Bachelor's Thesis

Differential protection of transformer

by

Miloslav Svoboda

Supervisor: doc. Ing. Petr Toman Ph.D

Brno University of Technology, 2010

Brno

ABSTRAKT

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je rozdělena do několika kapitol, které tvoří dvě hlavní části práce, teoretickou a praktickou.

V teoretické části se práce zabývá poruchami v el. síti, příčinami jejich vzniku a omezení jejich nežádoucích účinků. Dále teoreticky rozebírá funkci elektrických ochran, požadavky na tyto ochrany, jejich základní členy. Dále je zde popsán princip a funkce přístrojových transformátorů a rozdílových ochran transformátorů.

V praktické části se práce zabývá návrhem ochrany pro konkrétní transformátor. Návrh zahrnuje výpočet trojfázového zkratu, výběr rozdílové ochrany, návrh přístrojových transformátorů proudu a nastavení funkce ochrany.

KLÍČOVÁ SLOVA: poruchové stavy; zkraty; elektrické ochrany; ochrany transformátorů; rozdílová ochrana; digitální ochrany; přístrojové transformátory proudu

ABSTRACT

This bachelor thesis is divided into several chapters, which consist of two main parts of the work, theoretical and practical.

In the theoretical part the work deals with disorders of electric network, causes and limit of their adverse effects. Further it theoretically analyses the function of electrical protection, requirements for the protection, their basic elements. Then there is described the principle and function of instrument transformers and the differential protection of transformers.

The practical part of the work deals with protection for a specific transformer. The proposal involves the calculation of three-phase short-circuit, the selection of differential protection, the proposal of instrument transformers and settings of the protection function.

KEY WORDS: accident situations, short circuits, electrical protection, protection of transformers, differential protection, digital protection, current instrument transformers

OBSAH

Obsah.....	8
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	13
Seznam symbolů a použitých zkratek	14
1 Úvod.....	16
2 Cíle práce.....	17
3 Poruchové stavy	18
3.1 Zkraty	18
3.2 Zemní spojení.....	19
3.3 Přepětí.....	19
3.4 Ostatní poruchové stavy	21
3.4.1 Nadpětí a podpětí	21
3.4.2 Přetížení.....	21
3.4.3 Snížení a zvýšení kmitočtu.....	21
3.4.4 Nesouměrnost proudu a napětí.....	22
3.4.5 Zpětný tok výkonu	22
3.4.6 Ztráta buzení.....	22
3.4.7 Ložiskové proudy	22
4 Elektrické ochrany.....	23
4.1 Základní požadavky na ochrany.....	23
4.2 Druhy ochran.....	23
4.2.1 Elektromechanické ochrany	24
4.2.2 Elektronické ochrany.....	24
4.2.3 Digitální (číslicové ochrany).....	24
4.3 Základní členy ochran	24
4.3.1 Vstupní člen.....	24
4.3.2 Rozběhový člen (popud)	24
4.3.3 Měřicí člen.....	24
4.3.4 Logika.....	25
4.3.5 Časový člen	25
4.3.6 Koncový člen.....	25

4.3.7 Napájecí člen	25
4.4 Ochrany transformátorů	25
5 Přístrojové transformátory.....	27
5.1 Rozdělení přístrojových transformátorů.....	27
5.2 Přístrojové transformátory napětí.....	27
5.2.1 Rozdělení PTN	27
5.2.2 Základní pojmy a definice PTN	28
5.3 Přístrojové transformátory proudu	29
5.3.1 Princip, provedení PTP	30
5.3.2 Rozdělení PTP.....	30
5.3.3 Zapojení PTP do obvodů napájení ochran	32
5.3.4 Základní pojmy a definice PTP	32
5.4 Proudové senzory	33
6 Rozdílové ochrany transformátoru.....	35
6.1 Princip rozdílové ochrany, rozdílová ochrana jednofázového transformátoru	35
6.2 Příčiny falešných rozdílových proudů.....	36
6.2.1 Nestejné převody PTP	36
6.2.2 Nestejná konstrukce PTP	36
6.2.3 Vliv nestejného spojení primárního a sekundárního vinutí.....	37
6.2.4 Vliv magnetizačního proudu při zapnutí transformátoru naprázdno	38
6.2.5 Vliv regulace napětí u transformátorů.....	38
6.3 Rozdílová ochrana trojfázového transformátoru.....	38
6.3.1 Rozdílová ochrana transformátoru s více vinutími na fázi	38
6.4 Zemní ochrana transformátoru	39
6.4.1 Zemní ochrana vinutí spojených do trojúhelníka.....	40
6.5 Kombinovaná rozdílová a zemní ochrana.....	40
6.6 Digitální ochrana transformátoru	41
7 Návrh nastavení rozdílové ochrany.....	43
7.1 Chráněný transformátor a jeho parametry [9].....	43
7.2 Výběr rozdílové ochrany	44
7.2.1 SIPROTEC 7UT612 - všeobecné údaje, vlastnosti, oblast použití [8]	45
7.3 Výpočet zkratových poměrů [10].....	46
7.4 Návrh PTP.....	50

7.4.1 PTP na straně VVN [11]	50
7.4.2 PTP na straně VN [12] [13].....	51
7.4.3 Výpočet nadproudových činitelů [8] [14] [15]	53
7.5 Návrh nastavení ochranné funkce rozdílové ochrany [8] [14] [15]	56
7.5.1 Nastavení ochranné funkce	56
8 Závěr.....	60
8.1 Závěry práce.....	60
8.2 Využití dosažených výsledků, návrh dalšího postupu	60
Použitá literatura	61
Příloha A – HW Struktura rozdílové ochrany	62
Příloha B – Rozměry ochrany	63
Příloha C – Všeobecné údaje ochrany, požadavky na proudové transformátory.....	64
Příloha D – Výtah z manuálu 7ut612 – rozdílová ochrana	65

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3. 1 Souměrný (trojfázový) zkrat	18
Obr. 3. 2 Dvojfázový zkrat, dvojfázový zemní zkrat, jednofázový zkrat	18
Obr. 3. 3 Činnost zhášecí tlumivky	19
Obr. 3. 4 Trvalé přepětí	20
Obr. 3. 5 Dočasné přepětí.....	20
Obr. 3. 6 Přechodné přepětí s dlouhým čelem, přechodné přepětí s krátkým čelem	21
Obr. 5. 1 Provedení kapacitního přístrojového transformátoru napětí.....	28
Obr. 5. 2 Transformátory napětí firmy ABB pro vnitřní a venkovní prostředí.....	29
Obr. 5. 3 Zapojení přístrojového transformátoru proudu do obvodu objekt – ochrana	30
Obr. 5. 4 Transformátory proudu firmy ABB – podpěrný, průchodkový, tyčový	30
Obr. 5. 5 Sčítací PTP	31
Obr. 5. 6 Více jádrový PTP, PTP s pomocným autotransfomátorem	31
Obr. 5. 7 Rozdíl mezi senzory a transformátory s feromg. jádrem	34
Obr. 5. 8 Proudový senzor firmy ABB, typ KECA 250-B1.....	34
Obr. 6. 1 Princip rozdílové ochrany	35
Obr. 6. 2 Procentuální charakteristika rozdílové ochrany	36
Obr. 6. 3 Charakteristiky při různých, stejných nadproudých číslech	37
Obr. 6. 4 Připojení rozdílové ochrany v transformátoru se spojení Yd	37
Obr. 6. 5 Blokování rozdílové ochrany při zapínacím rázu	38
Obr. 6. 6 Rozdílová ochrana trojvintňového transformátoru.....	39
Obr. 6. 7 Rozdílová zemní ochrana transformátoru	39
Obr. 6. 8 Kombinovaná rozdílová a zemní ochrana	40
Obr. 6. 9 Digitální ochrana transformátoru	41
Obr. 7. 1 Schéma zadání práce	43
Obr. 7. 2 Výkonový transformátor Siemens, typ SV40-123/F. [9].....	44
Obr. 7. 3 Digitální rozdílová ochrana Siemens SIPROTEC 7UT612 [8]	45
Obr. 7. 4 Schéma pro výpočet zkratových poměrů	46
Obr. 7. 5 Celková sousledná zkratová impedance k místu poruchy	48
Obr. 7. 6 Přístrojový transformátor proudu firmy ABB, typ IMB [11]	51

Obr. 7. 7 Přístrojový transformátor proudu pro venkovní prostředí firmy ABB TPO 6 ..	52
Obr. 7. 8 Příklad vypínací charakteristiky ochrany 7UT612 [8].....	56
Obr. 7. 9 Výsledná vypínací charakteristika	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Třídění ochran [1]	23
Tab. 2 Ochrany transformátorů [1]	26
Tab. 3 Třída přesnosti jisticích PTP	33
Tab. 4 Parametry transformátoru firmy Siemens, typ SV40-123/F. [9]	44
Tab. 5 Parametry PTP, typ IMB 36-170 [11].....	50
Tab. 6 Parametry PTP - TPO [12].....	52
Tab. 7 Nastavení vstupních parametrů.....	59
Tab. 8 Nastavení ochranné funkce	59

SEZNAM SYMBOLŮ A POUŽITÝCH ZKRATEK

a,b,c	označení fází
C	kapacita
Δk	rozdíl nadproudových činitelů přístrojových transformátorů proudu
f	frekvence
$I_{1,a,2,b,3,c}$	fázové proudy
I_K	zkratový proud
I_L	proud cívkou
I_N	jmenovité proudy
I_P	poruchový proud
I_O, I_{stab}	stabilizační proud
I_R, I_{diff}	rozdílový proud
I_r	rozběhový proud
I_{24}	proud vzniklý kombinací 2. a 4. harmonické
I_5	5. harmonická proudu
I_Z	zemní proud
i_0	proud naprázdno
i_p	nárazový zkratový proud
j	imaginární jednotka
K	sklon vypínací charakteristiky
K_T	korekční činitel
k_O	kapacita zemního spojení
L_1, L_2, L_3	označení fází
L	indukčnost
$N_{1,2}$	primární vinutí, sekundární vinutí
nn	nízké napětí
n^*	nadproudový činitel
P	činný výkon
ΔP	ztráty
$P_{1,a,2,b}$	označení primárních svorek přístrojových transformátorů
p	převod napětí transformátoru

PTN	přístrojový transformátor napětí
PTP	přístrojový transformátor proudu
RO	rozdílová ochrana
S_N	jmenovitý zdánlivý výkon
$S_{1,a,2,b}$	označení sekundárních svorek přístrojových transformátorů
S_{rT}	jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru
t_K	doba trvání zkratu
T_2	doba trvání půlvlny přepětí
T_T	doba trvání přepětí
T_V	doba trvání čela přepětí
u_K	napětí nakrátko
$U_{1,a,2,b}$	napětí primární a sekundární strany
U_N	jmenovitá napětí
U_O	napětí naprázdno
ΔU	úbytek napětí
VN	vysoké napětí
VVN	velmi vysoké napětí
$X_{C,L}$	reaktance
x_T	poměrná reaktance
Y	admitance
Y_d, Y_y	způsob zapojení vinutí transformátoru
Z	impedance

1 ÚVOD

Transformátory a obecně energetická zařízení představují nákladné a důležité investice. Každým zvyšováním instalovaného výkonu a rozšířením rozvodné sítě vzrůstají nároky na spolehlivost celého energetického systému. Tuto spolehlivost a bezpečnost provozu ohrožují poruchové stavy (zkrat, zemní spojení, přepětí aj.). Tyto poruchy vznikají v jednotlivých prvcích elektrizační soustavy nahodile.

Podstatnou úlohu při zvětšování spolehlivosti a využitelnosti energetického zařízení mají ochrany. Elektrická ochrana je zařízení, které kontroluje chod jednotlivých částí elektrizační soustavy. Uvede se v činnost při poruše, nebo při abnormálních provozních stavech. Provede jednak vypnutí postiženého úseku (případně omezení následku poruchy) a jednak signalizuje působení pro obsluhu. Úkolem ochrany je omezit následky vzniklých poruch, nebo jim předcházet. Důležitou součástí ochran jsou přístrojové transformátory, přes které se elektrické ochrany zapojují.

Proudové rozdílové ochrany se používají jako ochrany transformátorů už od začátku minulého století. Rozdílová ochrana určuje poruchu z rozdílu průchozích proudů objektu a při zvětšení rozdílového proudu (trvale dovolený rozdíl) ochrana působí. Realizace tohoto principu u transformátorů spočívá v porovnání vstupních a výstupních proudů na obou stranách transformátoru. V současné době se stále častěji téměř v celém světě zavádějí digitální zařízení ve formě ochran. Umožňuje to spolupráci nebo včlenění ochran do celkového automatického systému řízeného výpočetní technikou.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem práce je teoreticky se seznámit s poruchami v el. soustavě, s principem chránění transformátorů elektrickými ochranami, s principem a funkcí přístrojových transformátorů proudu a detailněji s rozdílovými ochranami transformátorů.

Na základě těchto teoretických znalostí následně provést návrh nastavení rozdílové ochrany a návrh přístrojových transformátorů proudu pro konkrétní výkonový transformátor, umístěný v transformovně 110/22 kV se zkratovým výkonem 2600MVA. Práce bude také obsahovat příklad výpočtu trojfázového zkratu.

3 PORUCHOVÉ STAVY

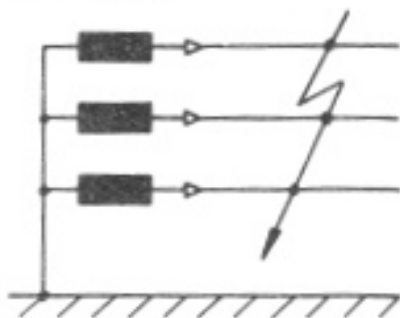
V elektrizační soustavě se mohou vyskytnout poruchové stavy, které ohrožují provoz jednotlivých prvků, či celé soustavy. Do těchto stavů patří: zkraty, zemní spojení, přepětí, nadpětí a podpětí, přetížení, snížení a zvýšení kmitočtu, nesouměrnost proudu a napětí, zpětný tok výkonu, ztráta buzení a ložiskové proudy.

3.1 Zkraty

Zkraty jsou nejčastější poruchou v elektrizační soustavě. Zkratem rozumíme vzájemné spojení dvou nebo více fází, nebo spojení fází se zemí v soustavě s uzemněným uzlem, čímž dochází ke vzniku nežádoucích zkratových proudů. Zkratový proud způsobuje elektrické poškození dielektrik a izolátorů, tepelná poškození vodičů a mechanická poškození vlivem zkratových sil. Zkrat může být způsoben únavou izolace, vlivem počasí (úder blesku), mechanickým poškozením, nebo špatnou manipulací. [1]

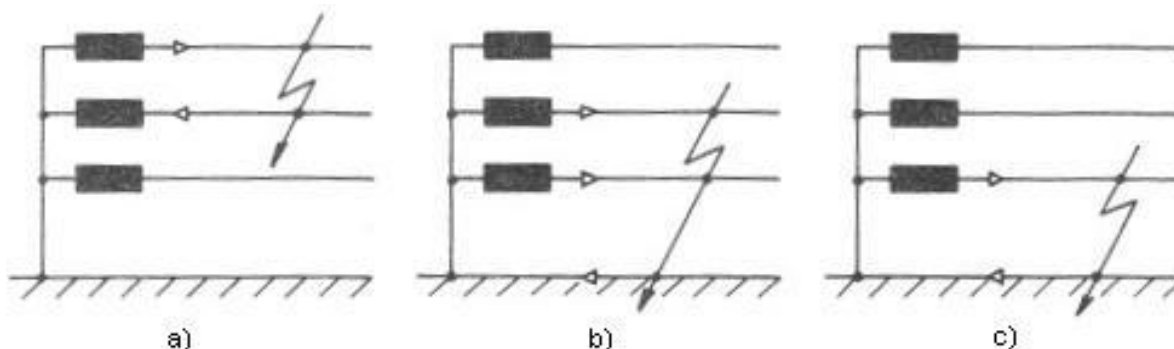
Rozeznáváme dva druhy zkratů: [1]

- **Souměrný (trojfázový) zkrat** – tzn. jsou-li zkratem postiženy všechny tři fáze současně



Obr. 3. 1 Souměrný (trojfázový) zkrat [1]

- **Nesouměrný zkrat** – ten se dále dělí na dvojfázový zkrat, dvoufázový zemní zkrat a jednofázový zkrat



Obr. 3. 2 a) Dvojfázový zkrat b) Dvojfázový zemní zkrat c) Jednofázový zkrat [1]

Omezení účinků zkratových proudů - zkratům nelze stoprocentně zabránit, proto se všechny součásti el. soustavy (např. přípojnice, izolátory) dimenzují z hlediska zkratových proudů tak, aby při jejich působení nevznikla na zařízeních poškození, která by bránila jejich dalšímu spolehlivému používání. Omezit účinky zkratových proudů lze také docílit zvýšením

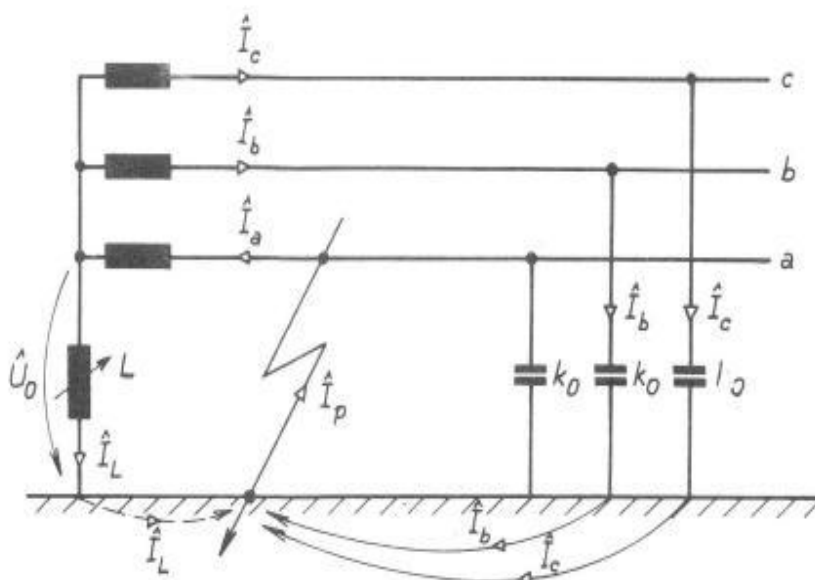
zkratové impedance strojů a montáží reaktorů. K rychlému vypínání zkratů slouží pojistky, jističe, stykače nebo mechanika opětného zapnutí. Z hlediska elektrických ochrany se k indikaci zkratů používá nejčastěji nadproudová (zkratová) ochrana. [1]

3.2 Zemní spojení

Zemní spojení je galvanické spojení jedné fáze se zemí v síti, kde je izolovaný, nebo neúčinně uzemněný uzel. Při zemním spojení vznikají kapacitní proudy mezi zemí a zdravými fázemi sítě, které jsou nebezpečné především pro velkou pravděpodobnost následného zkratu. Zemní spojení mohou být způsobeny stejnými vlivy jako zkraty. [1] [2]

Omezení účinků zemních spojení - aby bylo možné udržet provoz sítě i při zemním spojení, provádí se kompenzace kapacitních zemních proudů. K této kompenzaci se nejčastěji používá plynule regulovatelná, zhášecí tlumivka, která se zapojuje mezi uzel transformátoru a zem. [1][2]

Princip kompenzace pomocí této cívky je na obr.3.3:



Obr. 3. 3 Činnost zhášecí tlumivky [2]

Ke kompenzaci lze použít i tzv. Bauchův zhášecí transformátor, který plní stejnou funkci jako zhášecí cívka, pro svou velkou cenu se však téměř nepoužívá.

Z hlediska elektrických ochrany indikují zemní spojení ochrany rozdílové (kapitola 6), nadproudové, proti přetížení, srovnávací, distanční, u transformátorů plynové relé, jako zemní ochrana se dají použít i wattové a jalové ochrany.

3.3 Přepětí

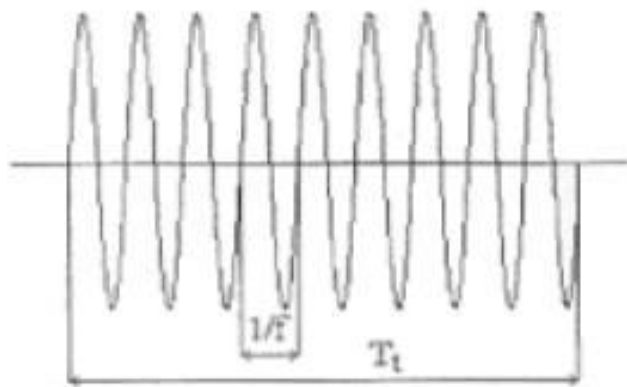
Přepětí je napětí jakéhokoliv druhu, které je vyšší než amplituda nejvyššího napětí soustavy. Přepětí se šíří po vedení ve formě postupné přepětíové vlny, která se v místě vzniku rozdělí na dvě části a každá z nich se šíří k jednomu konci vedení. Tyto vlny jsou nebezpečné hlavně tím, že ve zvýšené míře namáhají izolaci vodičů, což může vést k dalším poruchám v el. síti. Přepětí dělíme podle původu a časového průběhu. [3]

Rozdělení podle původu: [3]

- **Vnitřní (provozní)** – jsou spojena se změnami provozního stavu – při spínání, zkratech, zemních spojení nebo při rezonančních stavech.
- **Vnější (atmosférická)** – vznikají nejčastěji při bouřkách – nepřímým úderem blesku (indukcí napětí) a přímým úderem blesku (do fázových vodičů, zemních lan a stožárů).

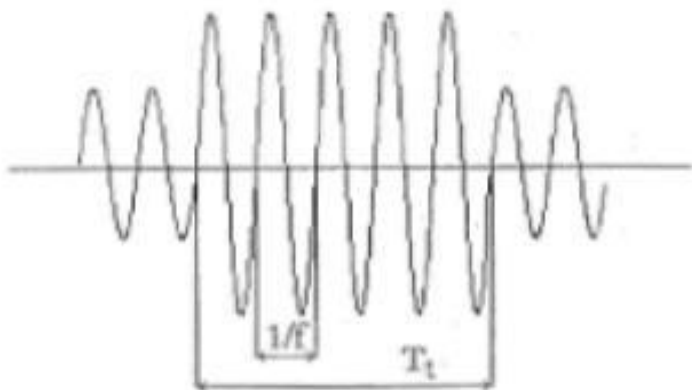
Rozdělení podle časového průběhu: [3]

- **Trvalé** – střídavé přepětí konstantní efektivní hodnoty a síťové frekvence



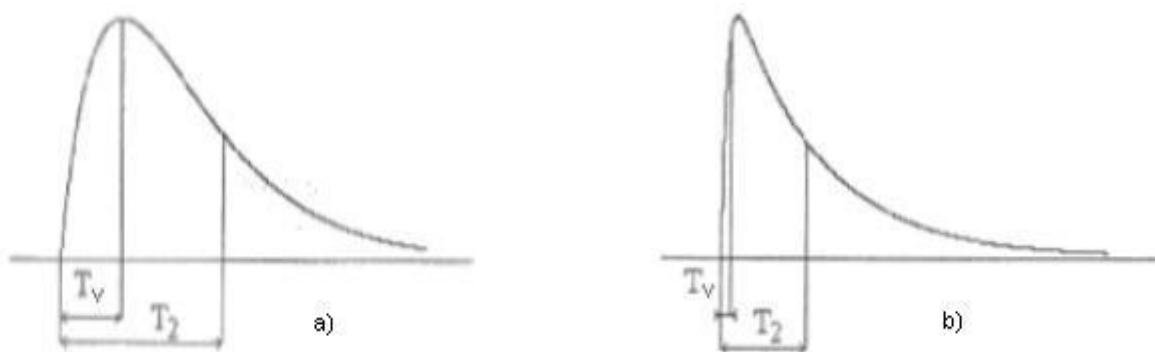
Obr. 3. 4 Trvalé přepětí ($f=50\text{Hz}$, $T_t>3600\text{s}$) [3]

- **Dočasné** – střídavé přepětí s dobou trvání od 0,03s do 3600s



Obr. 3. 5 Dočasné přepětí ($10\text{Hz}<f<500\text{Hz}$, $0,03\text{s}<T_t<3600\text{s}$) [3]

- **Přechodné** - přepětí s dobou trvání maximálně několik milisekund, mající tlumený nebo oscilační průběh. Přechodná přepětí mohou být s dlouhým čelem (delší trvání vrcholu přepětí) a s krátkým čelem



Obr. 3. 6 a) Přechodné přepětí s dlouhým čelem ($T_v > 20 \mu\text{s}$, $T_2 < 20 \text{ms}$) b) Přechodné přepětí s krátkým čelem ($T_v < 20 \mu\text{s}$, $T_2 < 300 \mu\text{s}$) [3]

- **Kombinované** – přepětí vzniklé současným výskytem dvou přepětí

Omezení účinků přepětí: [3]

- **Aktivní ochrany** - přímo zneškodňují vzniklé přepětí. Do těchto ochran patří jiskřiště a bleskojistky.
- **Pasivní ochrany** - slouží k omezení vzniku přepětí. Do těchto ochran patří stožáry, které brání k přeskoku na vedení a zemnicí lano, které chrání fázové vodiče proti přímým úderům blesku.

3.4 Ostatní poruchové stavy

3.4.1 Nadpětí a podpětí

Nadpětí a podpětí vzniká regulací napětí v soustavě při jmenovité frekvenci, nebo frekvenci blízké síťové. Z časového hlediska jde o déle trvající poruchové stavy než-li je přepětí. K nadpětí může dojít nevhodným nastavením regulačních odboček na transformátoru, náhlým odlehčením generátorů apod. Ke krátkodobému podpětí dochází tokem zvýšeného proudu nad jmenovité hodnoty zařízení, činností ochranných zařízení apod. [1] [4]

3.4.2 Přetížení

Přetížení je průchod příliš velké energie zařízením, je způsobeno hlavně nedostatkem instalovaného činného výkonu, který neodpovídá okamžité spotřebě. Důsledkem přetížení bývá obvykle přehřátí zařízení, nebo jeho části nad povolenou mez a tím způsobuje tepelná poškození a podstatně urychluje stárnutí izolací. [1] [4]

3.4.3 Snížení a zvýšení kmitočtu

Snížení kmitočtu nastává přetížením zdrojů energie v síti a má za následek zvětšení magnetizačních proudů, tím zvětšení ztrát a oteplení. Zvýšení kmitočtu bývá způsobeno poruchou regulace výkonu a má mechanické následky jak na chráněné zařízení, tak na připojené stroje. [1]

3.4.4 Nesouměrnost proudu a napětí

Nesouměrnost proudů a napětí je způsobena například přerušením vodičů, chodem stroje na 2 fáze, nebo nesouměrností zátěže. Je nebezpečná hlavně pro točivé stroje. Při takovém stavu vznikají zpětné složky proudů, které vytváří magnetické pole proti smyslu otáčení motoru. Tím vznikají v rotoru přídavné vířivé ztráty a rotor se může nebezpečně přehřívat. [1]

3.4.5 Zpětný tok výkonu

Zpětný tok výkonu je způsoben chybnou regulací výkonu nebo špatnou energetickou bilancí sítě a je nebezpečný hlavně pro točivé stroje, kde může způsobit mechanické poškození připojených strojů. [1]

3.4.6 Ztráta buzení

Ztráta buzení synchronních strojů může vzniknout při podpětí nebo poruchou budících obvodů, čímž synchronní stroj ztratí synchronismus a vzniká stav podobný nesouměrnosti proudů a napětí. Ztráta buzení může také způsobit mechanická a elektrická poškození stroje, snížení napětí a tím ohrožení stabilitu sítě. [1]

3.4.7 Ložiskové proudy

Ložiskové proudy vznikají v točivých strojích při magnetických nesouměrnostech ve statoru i rotoru stroje a působí přídavné oteplení a tím i mechanické poškození ložisek točivých strojů. [1]

4 ELEKTRICKÉ OCHRANY

Elektrická ochrana je jedna ze součástí systému chránění. Úlohou ochrany je na základě vstupních parametrů rozhodnout, zda jde o poruchový, nebo dovolený provozní stav a po identifikaci poruchového stavu uvnitř chráněného objektu musí dát povel na vypnutí, nebo poruchový stav signalizovat obsluze. [1] [4]

Rozdělení ochran je v následující tabulce:

Podle typu chráněného objektu	Podle druhu poruchy	Podle funkčního principu			Podle doby působení
ochrana:	ochrana:	ochrana:	stavová veličina:	značení vel.:	ochrana:
generátoru	zkratová	proudová	proud	i	mžiková
motoru	při přetížení	napěťová	napětí	u	časově závislá
transformátoru	podpěťová, nadpěťová	distanční	impedance	z	časově nezávislá
přípojnic	podkmitočťová	rozdílová	rozdíl proudů	Δi	Podle konstrukce
vedení	nadkmitočťová	srovnávací	rozdíl fáze proudů	$\Delta \varphi$	
kabelu	při zemním spojení	wattová	činný výkon	p	ochrana:
troleje	při zpětném toku výkonu	jalová	jalový výkon	q	elektromechanická
vypínače	při ztrátě buzení	kmitočťová	kmitočet	f	elektronická
lokomotivní	při nesouměrnosti	při nesouměrnosti	zpětný proud (napětí)	i_2	digitální (číslicová)

Tab. 1 Třídění ochran [1]

4.1 Základní požadavky na ochrany

Základními požadavky na ochrany jsou: [5]

- **Spolehlivost** - je definovaná jako schopnost vykonávat funkci podle daného algoritmu ochrany ve stanoveném čase s požadovanými parametry
- **Selektivita** – schopnost ochrany vypnout pouze poškozenou část tak, aby zařízení bez poruchy mohly nadále pracovat
- **Rychlost** – je čas působení ochrany od identifikace poruchy až po vyslání vypínacího povelu
- **Citlivost** – je definovaná jako nejmenší hodnota veličiny, při které ochrana spolehlivě působí
- **Přesnost** – je daná jako procentuální vyjádření skutečné citlivosti ochrany s ohledem na možné nastavení ochrany

4.2 Druhy ochran

Z hlediska vývoje můžeme ochrany rozdělit na elektromechanické ochrany, elektronické ochrany a digitální (číslicové) ochrany.

4.2.1 Elektromechanické ochrany

Jsou nejstarší analogové ochrany. Jsou tvořeny elektromagnetickými relé, které mezi sebou vzájemně spolupracují, proto jsou označovány jako klasické elektromechanické ochrany. Tyto ochrany povětšinou sledují pouze jednu veličinu. Jejich základními stavebními členy jsou měřicí relé (ve funkci měřicího a rozběhového členu), časová relé (časový člen), pomocná relé (logika, koncový člen) a napájecí člen. [1] [4]

4.2.2 Elektronické ochrany

Jsou stejně jako elektromechanické ochrany analogové. Jejich funkci zajišťují integrované obvody (polovodičové součástky), které nejsou nijak pohyblivé a proto se tyto ochrany označují jako statické. Elektronické ochrany jsou tvořeny všemi základními členy ochran. Oproti elektromechanickým mají řadu výhod; vyšší přesnost, menší požadavky na údržbu, nižší vlastní spotřebu, kratší operační čas. [1] [4]

4.2.3 Digitální (číslicové ochrany)

Použití výpočetní techniky ve funkci ochrany dává širší možnost zpracování a využití vstupních informací než v klasických ochranách a zdokonalení jejich funkčnosti – lepší přesnost, selektivita, a také zvýšení uživatelského komfortu. Digitální ochrany umožňují plnit i další úlohy, jako například monitorování, ovládání a řízení provozu el. soustavy a jejich prvků v reálném čase. Stavebními díly těchto ochran jsou digitální obvody. Veličiny uvnitř těchto ochran jsou zobrazeny a zpracovány pomocí diskretních hodnot (logické nuly a jedničky). [1] [4]

4.3 Základní členy ochran

Ochrana se skládá z několika částí, jejichž počet a druh závisí na typu. Mezi základní členy ochran patří: vstupní člen, rozběhový člen (popud), měřicí člen, logika, časový člen, koncový člen a napájecí člen.

4.3.1 Vstupní člen

Úlohou vstupního členu je přivést vstupní signál na zpracovatelný tvar a úroveň tak, aby další části ochrany pracovaly na úrovni voltů a miliampérů, což umožňuje miniaturizaci ostatních členů ochrany. Jmenovité vstupní napětí je většinou 100V, proud 1 nebo 5A. [1] [4]

4.3.2 Rozběhový člen (popud)

Rozběhový člen obsahuje každá ochrana. Jeho úkolem je uvést do činnosti měřicí člen a logiku při vzniku poruchy. Tento člen musí mít co nejlepší citlivost na kontrolovanou veličinu, aby se zabezpečila spolehlivá činnost ochrany jako celku. [1] [4]

4.3.3 Měřicí člen

Na měřicí člen je přiveden stav objektu a rozhoduje o poruše. Na měřicím členu je závislá selektivita, citlivost a přesnost ochrany, dále na principu měřicího členu jsou dané také vlastnosti ochrany.

Měřicí člen může pracovat: [1] [4]

- *v amplitudovém principu* - (závislý a nezávislý člen, rozdílový člen, součinnový člen, amplitudový komparátor)
- *jako fázový komparátor*

4.3.4 Logika

Logika má za úkol zpracovat logický signál z rozběhového členu, určit funkci měřicího členu a na základě signálu z měřicího členu určit funkci koncového členu. Logiku lze realizovat pomocí relé, diod, tranzistorů, integrovanými obvody nebo pomocí počítače. [1] [4]

4.3.5 Časový člen

Časový člen prodlužuje dobu působení ochrany a používá se k zajištění selektivity, vyloučení chybného působení ochrany a k možné akumulaci energie v objektu. [1] [4]

4.3.6 Koncový člen

Koncové členy jsou nejčastěji pomocná relé s výkonnými kontakty a jejich smyslem je upravit vstupní signál z logiky tak, aby byl schopen předání napětí na jednu ze dvou ovládacích cívek výkonového vypínače. [1] [4]

4.3.7 Napájecí člen

Napájecí člen napájí obvody těch částí ochran, které pro svojí činnost vyžadují pomocný zdroj energie.

Způsoby napájení ochran: [1] [4]

- *Ochrany bez napájení* – jsou takové ochrany, které nepotřebují pomocné napětí
- *Přímé napájení ze staniční baterie* – nejpoužívanější způsob, vyžaduje však dokonalou a náročnou údržbu
- *Napájení ze střídavé sítě* – pro svou malou spolehlivost se téměř nepoužívají
- *Napájení přes stabilizátor* – používá se u číslicových ochran, kde je vyžadována lepší stabilizace a filtrace napětí
- *Napájení akumulátorem umístěným v ochraně* – pouze ve spojení se staniční baterií při jejím dobíjení
- *Napájení soustavou střídač – usměrňovač*
- *Napájení přístrojovými transformátory*

4.4 Ochrany transformátorů

Poruchy na transformátorech jsou průchozí a vnitřní. Průchozí jsou ty, které nastávají vlivem připojených zařízení (přetížení nebo zkrat na připojeném objektu). Způsobují zvýšení teploty. Vnitřní poruchy mohou být s možností okamžité detekce (zkraty na vinutí a svorkách, zemní spojení), nebo projevující se pozvolna (špatné galvanické styky, poruchy chlazení, chybná regulace nebo vyrovnávací proudy mezi paralelně pracujícími transformátory).

Průchozí poruchy omezuje ochrana proti přetížení a nadproudová ochrana, vnitřní poruchy ochrana rozdílová (kapitola 6), nadproudová, proti přetížení, srovnávací, distanční a plynové relé.

Ochrany transformátorů jsou v následující tabulce:

Ochrana	Transformátor				Transformátor + vedení	Paralelně pracující transformátory	Transformátor v mřížové síti vn
	pod 1MVA	1-5MVA	5-60MVA	nad 60 MVA			
Rozdílová	-	N, 8	N, 8	N	-	N, 8	D
Kostrová	-	D	N	N	N	N	D
Zkratová nadproudová	-	N, 7	N, 7	N, 7	N, 7	N, 7	-
Srovnávací	-	-	-	-	N	-	-
Směrová	-	-	D	D	-	N, 6	N
Tepelný obraz přetížení	-	-	N, 4	N, 4	-	N, 4	-
Plynové relé	N	N	N	N	N	N	N
Při přetížení	N, 3	N, 3	-	-	N, 3	-	N, 3
Pojistky	N	-	-	-	-	-	N
Proudové ochrany	-	D, 1	D, 1	D, 1	-	N, 1	-
Signál přetížení	N, 2	N, 2	N, 2	N, 2	N, 2	N, 2	N, 2
N - nutná ochrana D - doporučená ochrana 1 - nutné podpěťové blokování 2 - vždy je-li možné přetížení transformátoru 3 - přetížení zajištěné závislou nadproudovou ochranou 4 - nutný tepelný obraz 5 - nahrazuje rozdílovou ochranu 6 - nutná směrová, na kterém transformátoru je porucha 7 - záloha rozdílové nebo srovnávací ochrany 8 - žádá-li se rychlé vypnutí							

Tab. 2 Ochrany transformátorů [1]

5 PŘÍSTROJOVÉ TRANSFORMÁTORY

Elektrické ochrany se nezapojují do objektů přímo, ale přes přístrojové transformátory proudu a napětí. Tyto transformátory jsou také napájecí členy ochran. Jejich použití dále umožňuje:

- transformaci jmenovitých napětí a proudů na jednotné normalizované hodnoty
- izolaci obvodů měřicích a jisticích přístrojů od obvodů vvn a vn
- soustředit měřicí přístroje a ochrany v dozornách na jednom místě z dosahu silných elektrických a magnetických polí
- v oddělených obvodech vytvoření součtů nebo rozdílů proudů a napětí
- chránit měřicí a ochranné systémy před nebezpečnými účinky poruchových proudů

5.1 Rozdělení přístrojových transformátorů

Podle měřené veličiny:

- *Přístrojové transformátory napětí* – jejichž sekundární napětí je úměrné napětí primárnímu
- *Přístrojové transformátory proudu* – jejichž sekundární proud je úměrný primárnímu proudu
- *Přístrojové transformátory kombinované* – kde je v jednom celku umístěný přístrojový transformátor proudu i napětí

Podle převodu:

- *Nepřepínatelné* – mají stálý převod
- *Přepínatelné* – vinutí je možné přepnout do několika různých převodů, podle přepínatelných vinutí se dále dělí na primárně a sekundárně přepínatelné

Podle účelu:

- *Měřicí* – určené pro měřicí přístroje
- *Jisticí* – určené pro ochrany

5.2 Přístrojové transformátory napětí

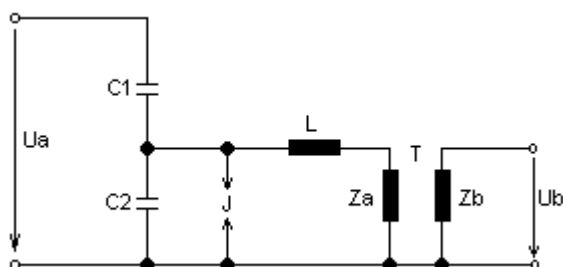
Přístrojové transformátory napětí (dále PTN) jsou určeny na napájení napěťových systémů měřicích, jisticích a regulačních přístrojů. Jejich primární strana se připojí paralelně k místu, kde se sleduje velikost napětí a na sekundární stranu se připojí potřebné el. přístroje.

5.2.1 Rozdělení PTN

Vyhotovení přístrojových transformátorů napětí může být různé. Dělíme je podle způsobu transformace, podle počtu fází a podle počtu sekundárních vinutí. [1] [4]

Podle způsobu transformace:

- **Indukční (klasický) přístrojový transformátor napětí** – primární a sekundární vinutí je zpražené pomocí mg. obvodu, má převod $\frac{U_1}{U_2} = p = \frac{N_1}{N_2}$ a příliš se neliší od provedení silových transformátorů, pouze dimenzováním výkonu. Tyto transformátory jsou poměrně přesné a spolehlivé.
- **Kapacitní přístrojový transformátor napětí** – tento přístroj není v principu transformátor, ale kapacitní dělič. Skládá se z kapacitního děliče C_1 a C_2 , kompenzační tlumivky L a izolačního transformátoru T . Tyto transformátory se používají pouze z ekonomických důvodů (izolační transformátor nemá velké nároky na izolaci a kapacitní dělič je levný). Jeho převod je
$$\frac{U_1}{U_2} = (C_1 + C_2) \frac{N_1}{N_2 \cdot C_2}$$



Obr. 5. 1 Provedení kapacitního přístrojového transformátoru napětí [1]

Podle počtu fází:

- **jednofázové jednopólově izolované**
- **jednofázové dvoupólově izolované**
- **trojfázové plně izolované**
- **trojfázové uzeměné**

Podle počtu sekundárních vinutí:

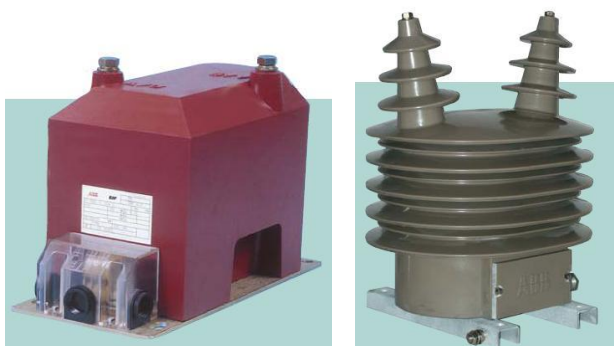
- **s jedním vinutím**
- **s více vinutími**

5.2.2 Základní pojmy a definice PTN

K základním elektrickým veličinám, které blíže určují vlastnosti PTN patří následující veličiny: [4]

- a) **Jmenovité primární napětí U_{IN}** – efektivní hodnota primárního napětí. U dvoupólově izolovaných transformátorů odpovídá jmenovitému sdruženému napětí rozvodné soustavy, u jednopólově izolovaných transformátorů je to jmenovité fázové napětí.

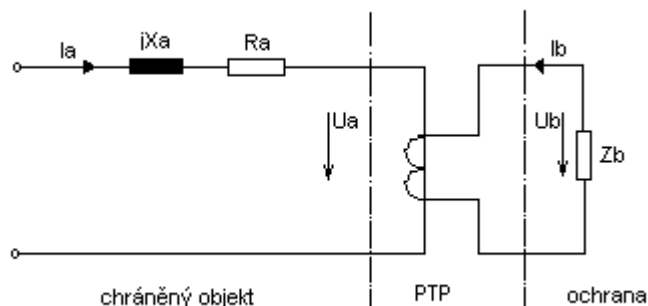
- b) **Jmenovité sekundární napětí** U_{2N} – u dvoupólově izolovaných transformátorů je to napětí 100V a u jednopólově izolovaných transformátorů $100/\sqrt{3}$ V
- c) **Jmenovitý převod** k_U – poměr jmenovitého primárního napětí k jmenovitému sekundárnímu napětí $k_U = \frac{U_{1N}}{U_{2N}}$
- d) **Břemeno** – celková admitance přístrojů připojených na sekundární svorky transformátoru při daném účinníku $Y = \sqrt{G^2 + B^2}$
- e) **Jmenovité břemeno** Y_N – admitance, kterou smí být přístrojový transformátor zatížený, aby byla dodržena předepsaná přesnost
- f) **Zátěž** S_N – hodnota zátěže ve VA, kterou transformátor přenáší do sekundárního obvodu při jmenovitém sekundárním napětí a připojeném jmenovitém břemenu $S_n \leq Y \cdot U_N^2$
- g) **Činitel zvýšení napětí** – činitel, jehož součin se jmenovitým napětím dává nejvyšší napětí, při němž transformátor musí splňovat požadavky na oteplení po předepsanou dobu a požadavky na přesnost
- h) **Chyba napětí (chyba převodu)** – $\varepsilon_U = \frac{k_U \cdot U_2 - U_1}{U_1}$
- i) **Chyba úhlu** – fázový rozdíl mezi fázory primárního a sekundárního napětí
- j) **Třída přesnosti PTN** – označení přiřazené transformátoru napětí, jehož chyba napětí a chyba úhlu nepřekročí provozní hodnoty v předepsaných provozních podmínkách. Třídy přesnosti měřicích transformátorů napětí jsou 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1 ; 3.



Obr. 5. 2 Transformátory napětí firmy ABB pro vnitřní a venkovní prostředí [6]

5.3 Přístrojové transformátory proudu

Přístrojové transformátory proudu (dále PTP) jsou stejně jako PTN určeny na napájení napěťových systémů měřicích, jisticích a regulačních přístrojů. Primární strana se zapojí do série s obvodem chráněného objektu a na sekundární stranu se připojí potřebné el. přístroje. PTP proudu musí mít konstantní poměr primárního a sekundárního proudu. [1] [4]



Obr. 5. 3 Zapojení přístrojového transformátoru proudu do obvodu objekt – ochrana [1]

5.3.1 Princip, provedení PTP

Zatímco princip PTN se příliš neliší od silových transformátorů, PTP se od silových liší podstatněji. Hlavním znakem je, že primární proud PTP je nezávislý na velikosti zátěže sekundární strany. U PTP nesmí nikdy dojít k rozpojení sekundárního proudového obvodu, kdy by došlo k vzrůstu sekundárního napětí a to by mohlo ohrozit ochranu i samotný transformátor. Z obrázku 5.3. je patrné, že při rozpojení sekundárního obvodu vzroste Z_b na nekonečnou hodnotu a tím i napětí U_b . [1] [4]

5.3.2 Rozdělení PTP

PTP rozdělujeme dle několika hledisek. Podle vyhotovení, účelu, počtu primárních a sekundárních vinutí, podle počtu závitů primárního vinutí, podle rozptylové reaktance a tzv. speciální jistící PTP. [4]

Podle vyhotovení:

- *Podpěrný PTP*
- *Průchozí PTP*
- *Průchodkový PTP*
- *Tyčový PTP*
- *Násuvný PTP*
- *Prstencový PTP*



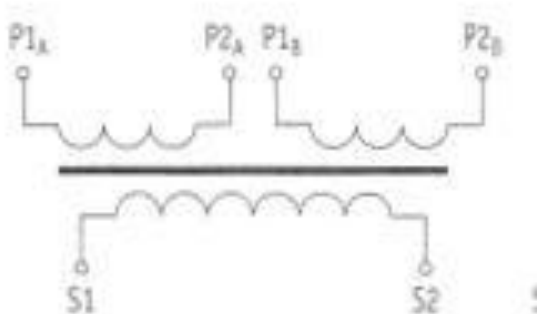
Obr. 5. 4 Transformátory proudu firmy ABB a) podpěrný b) průchozí c) tyčový [6]

Podle účelu:

- **Měřicí** – určené pro měřicí přístroje
- **Jistící** – určené pro ochrany

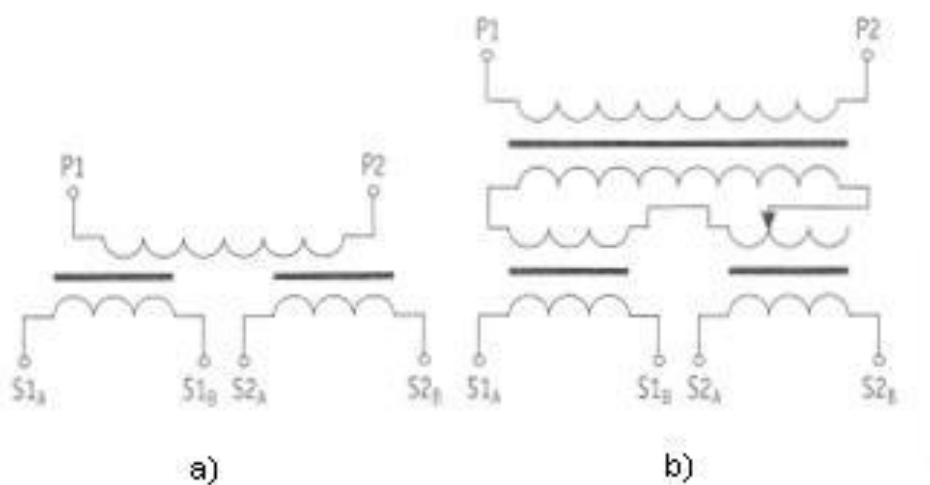
Rozdělení podle počtu primárních a sekundárních vinutí: [4]

- **Sčítací PTP** – má několik vstupních vinutí a jedno sekundární vinutí



Obr. 5. 5 Sčítací PTP [4]

- **PTP s několika sekundárními vinutími** – může být více jádrový, nebo řešený s pomocnými autotransformátory



Obr. 5. 6 a) více jádrový PTP b) PTP s pomocným autotransformátorem [4]

- **Kaskádní PTP**

Rozdělení podle počtu závitů primárního vinutí: [4]

- **Jednozávitový PTP**
- **Vícezávitový PTP**

Rozdělení podle rozptylové reaktance: [4]

- **Nízkoreaktanční PTP**
- **Vysokoreaktanční PTP**

Speciální jistící PTP se dělí na: [4]

- **PTP pro distanční ochrany** – PTP pro napájení distančních ochran
- **PTP pro rozdílové ochrany** – PTP s vhodnou nadproudovou charakteristikou (tj. závislost sekundárního proudu na proudu primárním v nadproudové oblasti PTP), pro napájení rozdílových ochran
- **PTP pro jištění při zemních spojeních** – PTP s charakteristikou vhodnou pro funkci filtru netočivé složky proudu, která slouží na identifikaci zemních poruch

5.3.3 Zapojení PTP do obvodů napájení ochran

PTP jsou konstrukčně vyhotovené jako jednofázové, v trojfázové soustavě se používají dva nebo tři transformátory, podle druhu ochrany.

Způsoby zapojení PTP do obvodů napájení ochran: [4]

- **Do úplné hvězdy** – toto zapojení se používá v účinně uzemněných soustavách (zemní spojení)
- **Do neúplné hvězdy** – toto zapojení se používá v neúčinně uzemněných soustavách (zkratky). Zapojení do neúplné hvězdy znamená zapojení 2 rozběhových členů, jedna fáze se vynechává.
- **Do trojúhelníka** – toto zapojení se používá pro rozdílové ochrany. Rozběhové členy ochran připojené na vinutí trojúhelníka reagují na všechny typy zkratů.
- **Součtové zapojení** – využití pro ochrany vedení. Součtové zapojení znamená spojení sek. vinutí transformátorů do jednoho rozběhového členu ochrany.

5.3.4 Základní pojmy a definice PTP

K základním elektrickým veličinám, které blíže určují vlastnosti PTN patří následující veličiny: [4]

- Jmenovitý primární proud I_{1N}** – efektivní hodnota primárního proudu, která je uvedena na štítku transformátoru a na které je založena jeho činnost. Normalizované hodnoty jmenovitých primárních proudů jsou 10 – 12,5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 A a jejich dekadické násobky nebo zlomky
- Jmenovitý sekundární proud I_{2N}** – efektivní hodnota sekundárního proudu, která je uvedena na štítku transformátoru a na které je založena jeho činnost. Normalizované hodnoty jmenovitých sekundárních proudů jsou 1 A, 2 A a 5 A.
- Jmenovitý převod k_I** – poměr jmenovitého primárního proudu k jmenovitému sekundárnímu proudu $k_I = \frac{I_{1N}}{I_{2N}}$
- Břemeno** – celková impedance přístrojů připojených na sekundární svorky transformátoru při daném účinníku $Z = \sqrt{(R + R_i)^2 + (X + X_i)^2}$
- Jmenovité břemeno Z_N** – impedance, kterou smí být přístrojový transformátor zatížen, aby byla dodržena předepsaná přesnost

- f) **Zátěž** S_N – hodnota zátěže ve VA, na které jsou založeny požadavky na předepsanou přesnost. Řada standardně vyráběných jmenovitých výkonů 2,5 – 5 – 10 – 15 – 30 VA.
- g) **Chyba proudu (chyba převodu)** – $\varepsilon_I = \frac{k_U \cdot I_2 - I_1}{I_1}$
- h) **Chyba úhlu** – fázový rozdíl mezi fázory primárního a sekundárního proudu
- i) **Celková chyba** – za ustáleného stavu podmínek efektivní hodnota rozdílu mezi okamžitými hodnotami primárního proudu a okamžitými hodnotami skutečného sekundárního proudu násobenými jmenovitým převodem
- j) **Nejvyšší napětí pro zařízení** – nejvyšší efektivní hodnota sdruženého střídavého napětí pro kterou je transformátor konstruován s ohledem na jeho izolaci
- k) **Jmenovitý krátkodobý tepelný proud** - efektivní hodnota primárního proudu, který transformátor vydrží po dobu 1 sekundy při zkratovaném sekundárním vinutí aniž by došlo k poškození transformátoru
- l) **Jmenovitý dynamický proud** – vrcholová hodnota primárního proudu, kterou transformátor vydrží bez elektrického nebo mechanického poškození elektrodynamickými silami při zkratovaném sekundárním vinutí
- m) **Jmenovitý primární nadproud** – hodnota minimálního primárního proudu, při které je celková chyba měřicího transformátoru proudu rovna nebo větší než 10 % při jmenovitém sekundárním břemenu
- n) **Nadproudové číslo** – poměr jmenovitého primárního nadproudu ke jmenovitému primárnímu proudu
- o) **Třída přesnosti PTP** - označení přiřazené transformátoru proudu, jehož chyba proudu a chyba úhlu nepřekročí provozní hodnoty v předepsaných provozních podmínkách. Třídy přesnosti měřicích transformátorů proudu jsou 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1 ; 3 ; 5 ; jisticích transformátorů proudu jsou 5P a 10P a jim odpovídají dovolené chyby:

Třída přesnosti	Chyba proudu	Chyba úhlu		Celková chyba
	%	minuty	centiradiány	
5P	±1	±60	±1,8	5
10P	±3	-	-	10

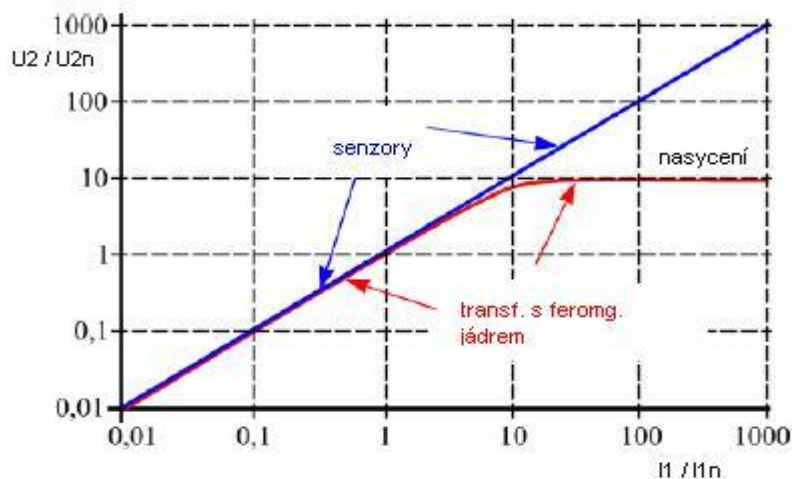
Tab. 3 Třída přesnosti jisticích PTP

5.4 Proudové senzory

Proudové senzory se využívají pro měření několika ampérů až po stovky ampérů. Používají se pro méně rozměrné el. stanice a rozvodny. Jejich hlavními výhodami jsou malé rozměry, flexibilita při budoucím zvyšování výkonů v el. stanicích, spolehlivost, elektromagnetická kompatibilita a minimální údržba.

Měřicí princip proudového senzoru je známý od roku 1912. Proudový senzor sestává z Rogowského cívky, která je rovnoměrně navinutá bez magnetického jádra.

Proudové senzory se skládají z toroidního vinutí a proudového vodiče procházejícího středem toroidu. Protože senzor neobsahuje feromagnetické jádro, nemůže dojít k jeho přesycení. Takto složený proudový senzor má velký dynamický rozsah a garantovanou velkou linearitu proudu na výstupu v širokém frekvenčním pásmu. [4]

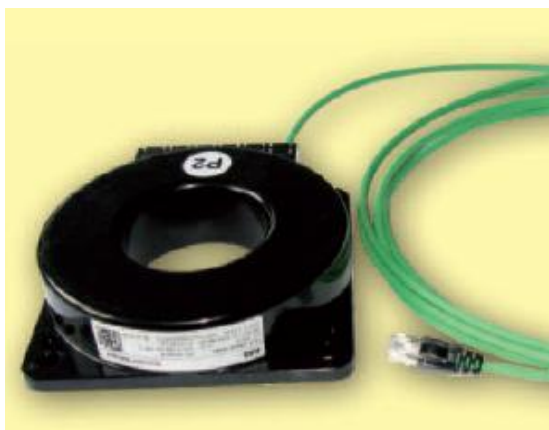


Obr. 5. 7 Rozdíl mezi senzory a transformátory s feromg. jádrem [7]

U kvalitních proudových senzorů dosahuje chyba převodu maximální relativní hodnoty 0,5%. Nejdůležitějšími příčinami chyb u proudových senzorů jsou:

- **Změny teplot** – teplotní závislost lze snižovat použitím materiálů s nízkými teplotními koeficienty
- **Výrobní tolerance, vliv magnetických polí sousedních fází a délka primárního vodiče** – tyto vlivy je možno eliminovat vhodnou konstrukcí senzoru a jeho optimálním umístěním ve VN rozváděči

Proudové senzory jsou navrženy pro frekvenci 50 Hz. Umožňuje měřit střídavé proudy s frekvenčním rozsahem několik Hz až do několika kHz. Tento frekvenční rozsah je dostatečný i pro přenos deformovaných průběhů poruchových proudů a vyhodnocování kvality el. energie. [4]

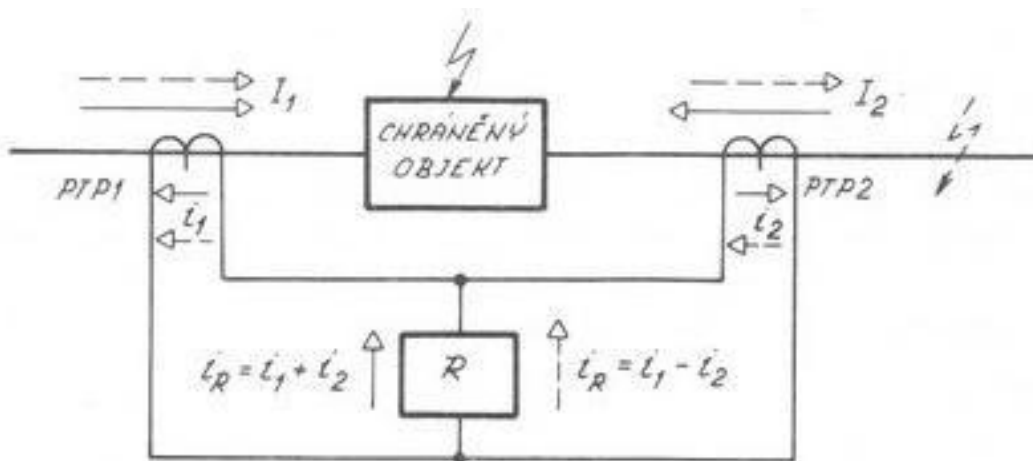


Obr. 5. 8 Proudový senzor firmy ABB, typ KECA 250-B1 [6]

6 ROZDÍLOVÉ OCHRANY TRANSFORMÁTORU

6.1 Princip rozdílové ochrany, rozdílová ochrana jednofázového transformátoru

Rozdílová ochrana (dále RO) je základní ochrana omezující účinky vnitřních poruch u strojů nad 1 MVA. Principiální schéma je znázorněno na obrázku 6.1. RO je vždy připojena na PTP umístěné po obou stranách chráněného transformátoru. Ochrana porovnává vstup s výstupem, poruchu určuje z rozdílu průchozích proudů objektu. Při zvětšení rozdílového proudu i_R nad hodnotu nastaveného rozběhového proudu ochrana působí. Podstatná výhoda principu rozdílové ochrany spočívá v tom, že provede bez zpoždění vypnutí při všech zkratech v libovolném místě chráněné oblasti. Proudové transformátory na protějších stranách oddělují chráněnou oblast od zbývající sítě. Toto přesné vymezení je základem ideální selektivity, která je vlastní principu rozdílové ochrany.



Obr. 6. 1 Princip rozdílové ochrany [2]

Rozdílový proud je roven: $i_R = i_2 - i_1$

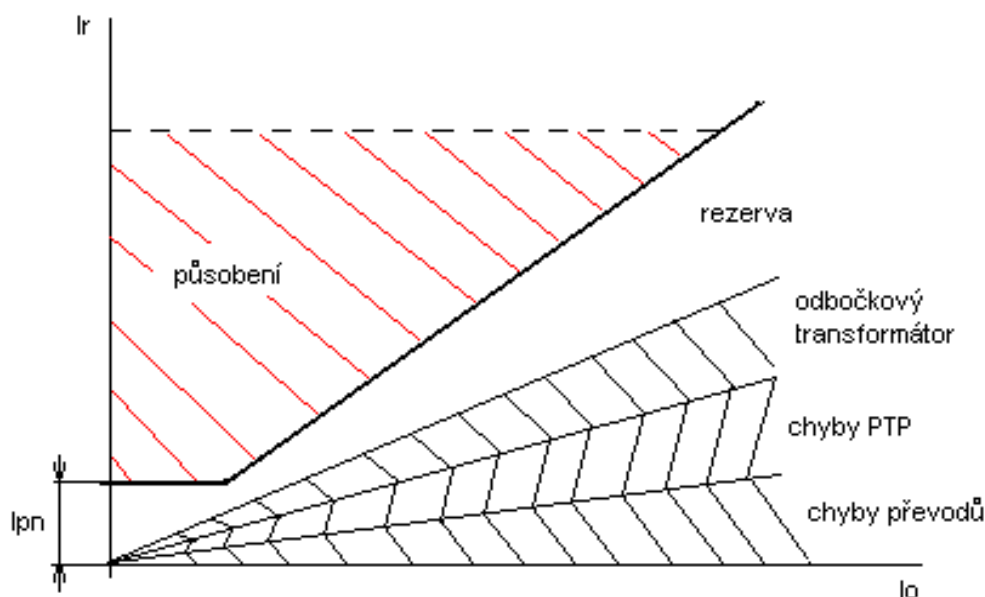
Rozdílový proud poskytuje přesné měření poruchového proudu. Při zapojení rozdílového relé R dle obrázku 6.1., tak bude poskytovat výbornou ochranu pro transformátory.

Při návrhu RO se musí dbát především na možné vznikly „falešných“ rozdílových proudů, které mohou vzniknout z příčin popsanych níže (kap.6.2). Tyto falešné proudy mohou způsobit nežádoucí odpojení transformátoru. Řešení tohoto problému poskytuje procentuální rozdílové relé. V procentuální rozdílové ochraně musí překročit rozdílový proud pevně danou hodnotu omezujícího proudu. Jeho hodnota je definována jako průměr primárního a sekundárního proudu:

$$i_o = \frac{i_1 + i_2}{2}, \text{ relé bude působit, když:}$$

$$i_R \geq K \cdot i_o, \text{ kde... } K - \text{sklon vypínací charakteristiky}$$

Sklon vypínací charakteristiky K je obvykle dán v procentech – 10%, 20% a 40%. Relé se sklonem 10% je citlivější na poruchy, ale zároveň je náchylnější na nesprávnou činnost. Vypínací charakteristika je uvedena na obr. 6.2. [4]



Obr. 6. 2 Procentuální charakteristika rozdílové ochrany [4]

Charakteristika zahrnuje tři zdroje vzniku falešných rozdílových proudů a určitou rezervu. Relé má málo zvednuté nastavení I_{pn} – tzn., že relé nebude působit, pokud rozdílový proud nepřekročí nastavenou rozběhovou hodnotu.

Nízké procentuální nastavení zaručí, že ochrana nebude chybně působit při rozdílovém proudu způsobeném chybou převodu a chybou PTP, vyšší nastavení je nutné u odbočkových transformátorů, když bude transformátor pracovat na nejnižší, nebo nejvyšší odbočce regulačního rozsahu. [2] [4]

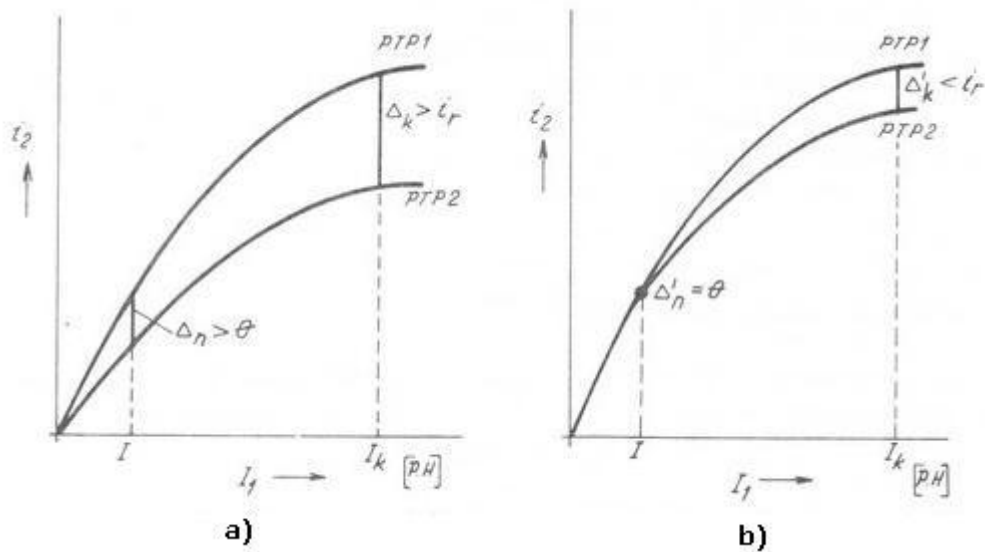
6.2 Příčiny falešných rozdílových proudů

6.2.1 Nestejné převody PTP

Jsou způsobeny tím, že k vypočteným jmenovitým proudům je nutno volit normalizované převody. Tím vzniká při normálním provozu trvalý rozdíl proudu a ochrana by nesprávně působila. Je proto potřeba přednastavit citlivost rozdílového relé. [2] [4]

6.2.2 Nestejná konstrukce PTP

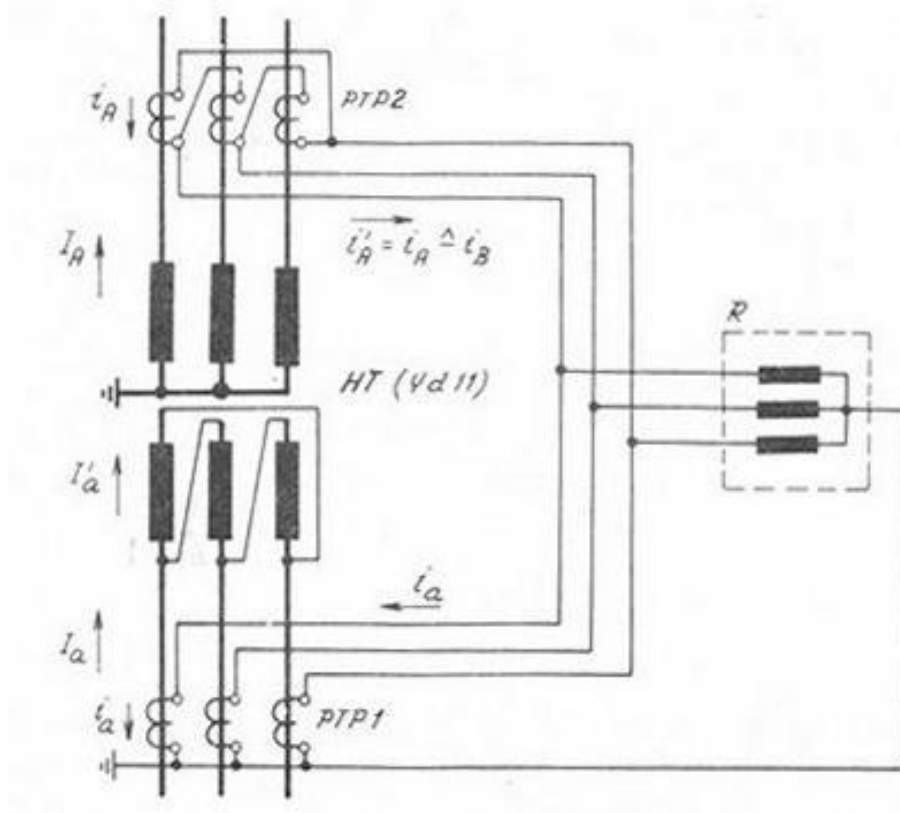
Při stejné konstrukci mají PTP jiné nadproudové číslo a při vnější poruše (např. v obr. 6.3. zkrat I_K) vznikne příčinou stejnorodých nadproudových čísel rozdíl proudu Δk vyšší než je rozběhový proud i_r a ochrana může nesprávně působit. Je proto třeba volit PTP se stejnými nadproudovými čísly. [2] [4]



Obr. 6. 3 Charakteristiky a) při různých nadproudových číslech b) stejných nadproudových číslech [2]

6.2.3 Vliv nestejného spojení primárního a sekundárního vinutí

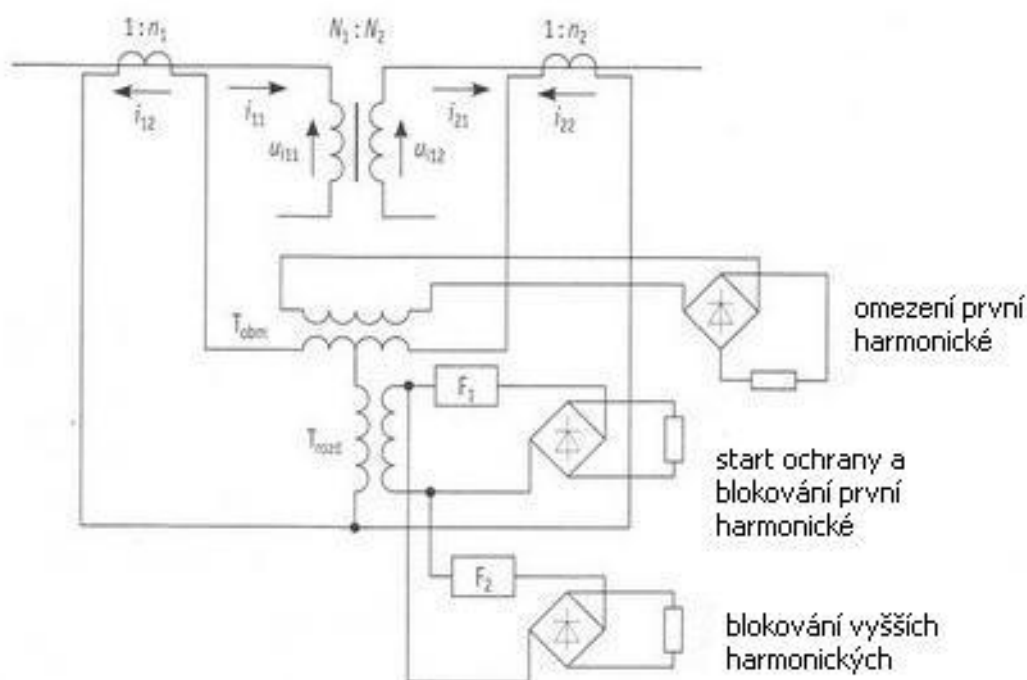
Při takové konfiguraci (např. Yd) jsou odpovídající si fázové proudy fázově posunuty o 30° , takže i při řádném chodu vzniká trvalý rozdílový proud. Vyrovnání se provede tak, že druhý PTP má stejné spojení jako protější vinutí transformátoru (viz. obr. 6.4.) [2] [4]



Obr. 6. 4 Připojení rozdílové ochrany v transformátoru se spojení Yd.[2]

6.2.4 Vliv magnetizačního proudu při zapnutí transformátoru naprázdno

Velikost mg. proudu při zapnutí naprázdno závisí na okamžiku zapnutí a na remanenci jádra. Pro blokování tohoto se využívají filtry harmonických proudů. [4]



Obr. 6. 5 Blokování rozdílové ochrany při zapínacím rázu [4]

6.2.5 Vliv regulace napětí u transformátorů

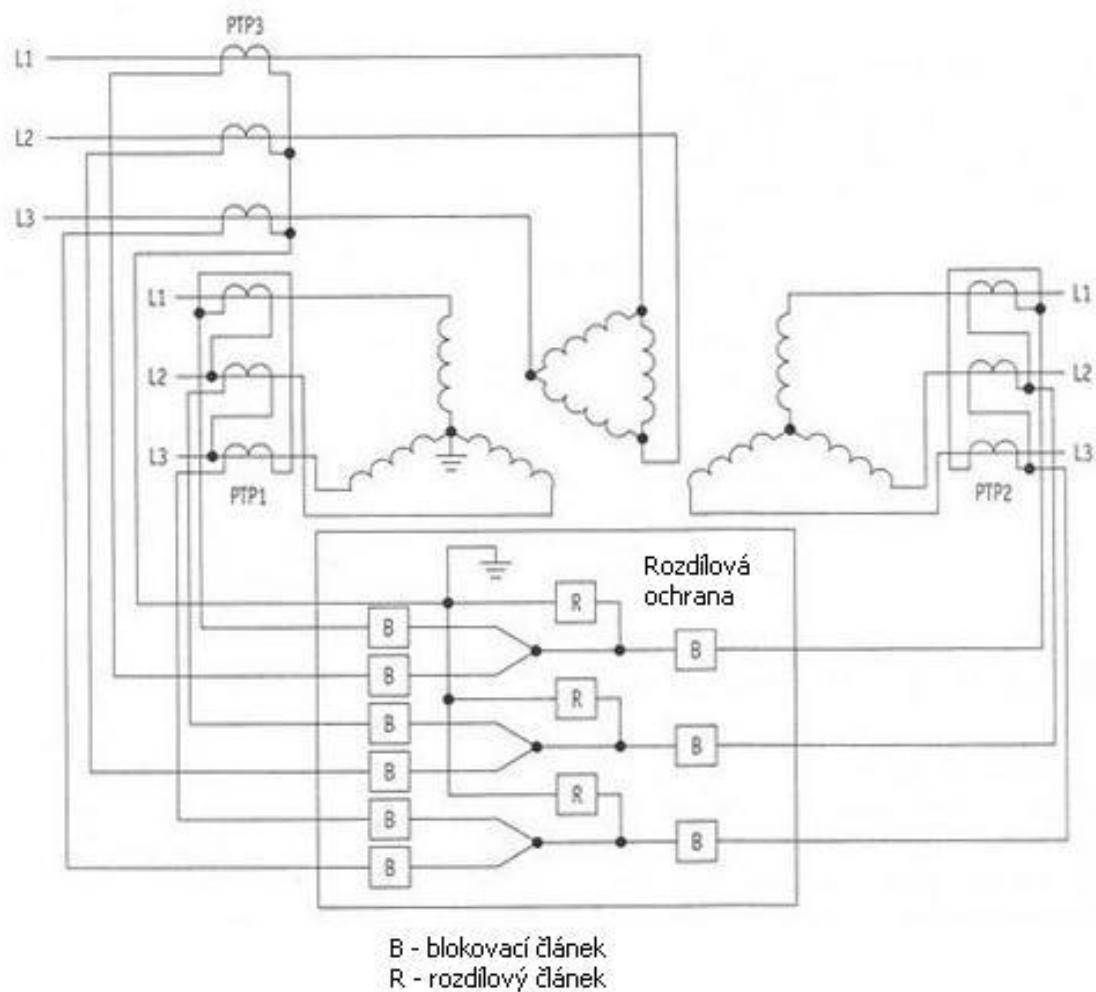
Přepínáním odboček na primární nebo sekundární straně (za účelem dosažení požadovaného napětí na výstupu) se mění transformační převod. Z tohoto důvodu se musí respektovat vyrovnávací proudy tekoucí vinutím relé při ostatních polohách přepínače transformátoru. Protože PTP mají pevný převod, volí se vyšší rozběhový proud rozdílového relé. [2] [4]

6.3 Rozdílová ochrana trojfázového transformátoru

U RO trojfázového transformátoru se porovnávají primární a sekundární proudy ve všech třech fázích samostatně. Princip činnosti je stejný jako u RO jednofázového transformátoru. Jediný rozdíl mezi ochranou jednofázového a trojfázového transformátoru je v tom, že u trojfázového transformátoru je nutné vyřešit vlivy konfigurace Yd. Vlivy této konfigurace a řešení tohoto problému jsou popsány v kapitole 6.2.3. [4]

6.3.1 Rozdílová ochrana transformátoru s více vinutími na fázi

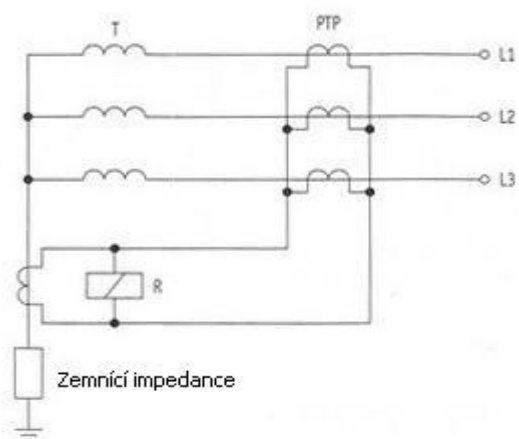
Výše popsaná konstrukce RO může být aplikovaná pro jednofázový transformátor se třemi nebo více vinutími a pro trojfázový transformátor se třemi nebo více vinutími na fázi. PTP musí být vždy zapojeny tak, aby se vyloučily vlivy nestejného spojení primárního a sekundárního vinutí (kapitola 6.2.3.). [4]



Obr. 6. 6 Rozdílová ochrana trojvintového transformátoru [4]

6.4 Zemní ochrana transformátoru

Tato forma ochrany také patří do kategorie proudových rozdílových ochran a velikost chráněného úseku závisí na metodě uzemnění. Využívá 4 PTP, všechny se stejným převodem. Jeden je zapojený v uzemněném uzlu a ostatní ve vinutích. Princip zapojení je na obrázku 6.7. [4]



Obr. 6. 7 Rozdílová zemní ochrana transformátoru [4]

Pakliže vznikne mezifázová porucha neobsahující zem, rozdílový proud zemní ochrany bude nulový. Jakmile však vznikne zemní porucha, přes relé poteče proud úměrný poruchovému a v tomto okamžiku zemní ochrana (dále ZO) působí. [4]

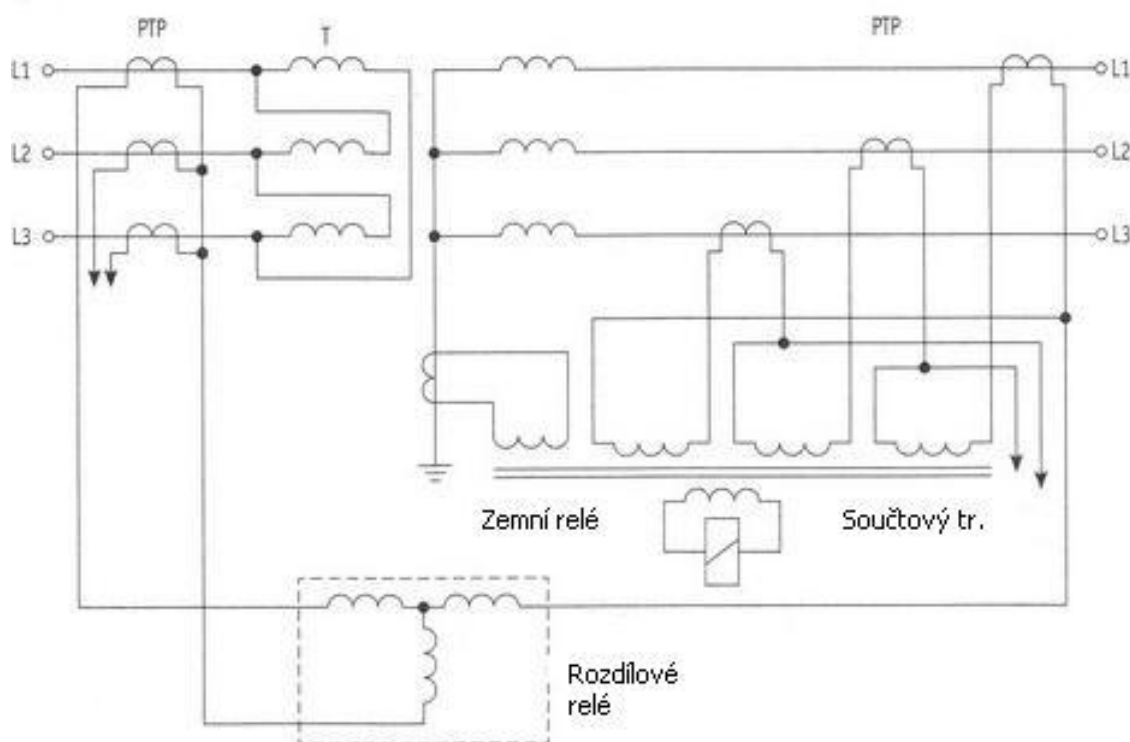
6.4.1 Zemní ochrana vinutí spojených do trojúhelníka

Zemní porucha může vzniknout i na vinutích transformátorů zapojených do trojúhelníka, které jsou připojené na síť s uzemněnými transformátory nebo uzemněným nulovým bodem. V takovém případě při vzniku zemní poruchy by měla působit rozdílová ochrana, více se však pro identifikaci této poruchy používá ZO pro vinutí zapojené do trojúhelníka. Tato ochrana se příliš neliší od ZO transformátoru, liší se tím, že jsou použité 3 PTP, zapojené v přívodních vodičích transformátoru. Jako rozdílový článek se může použít relé s vysokou impedancí.

Tato ochrana stejně jako zemní ochrana nereaguje na poruchy vzniklé v přidružené síti. Reaguje pouze na zemní poruchy, protože suma proudů ve trojfázové síti se při zemní poruše nerovná nule. [4]

6.5 Kombinovaná rozdílová a zemní ochrana

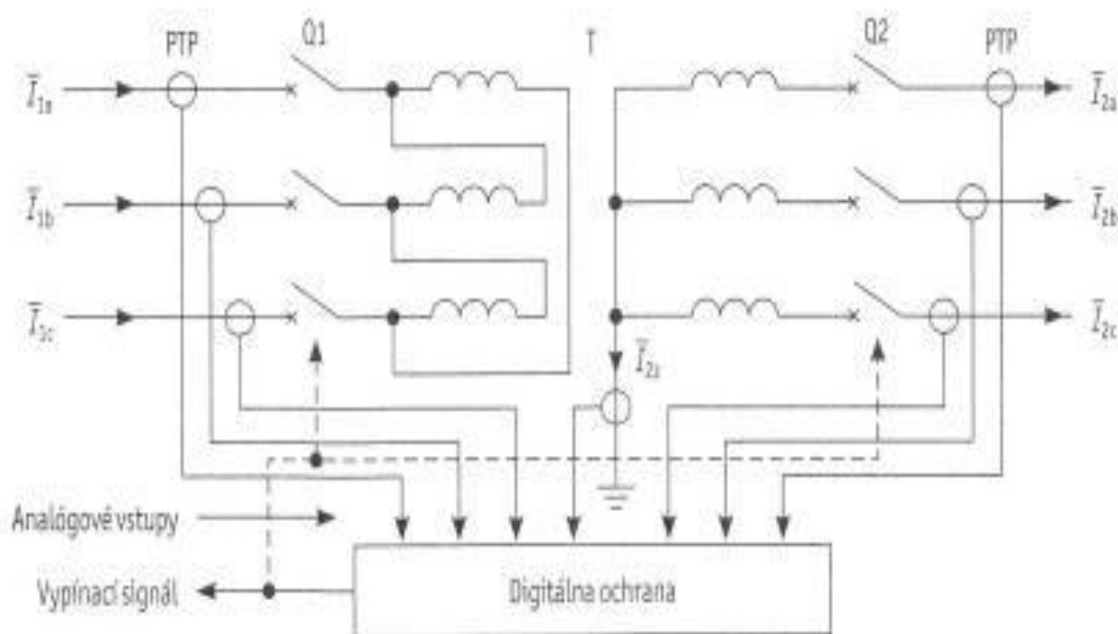
Při kombinaci rozdílové a zemní ochrany musíme použít 10 PTP (6 pro rozdílovou a 4 pro zemní). Protože mohou při umístování PTP do spínacího zařízení vzniknout těžkosti, je výhodné snížit počet transformátorů potřebných na napájení RO a ZO a použít ty stejné transformátory. Počet potřebných PTP tak klesne na sedm. Jeden z principů uspořádání je na obrázku 6.8. [4]



Obr. 6. 8 Kombinovaná rozdílová a zemní ochrana [4]

6.6 Digitální ochrana transformátoru

Digitální ochrana trojfázových transformátorů zahrnuje komplexní ochranu, obsahuje kromě proudové rozdílové ochrany i oddělenou ochranu zemní pro primární a sekundární vinutí. Typické uspořádání takové ochrany je na obr. 6.9. [4]



Obr. 6. 9 Digitální ochrana transformátoru [4]

Na blokování ochrany proti proudovým nárazům se v této rozdílové ochraně využívá 2. a 4. harmonická rozdílového proudu. Omezující funkce založená na 5. harmonické rozdílového proudu je využita při blokování ochrany při přebuzení transformátoru. Protože procentuální rozdílová charakteristika (obr. 6.2.) je založená na základních harmonických z omezovacích a rozdílových proudů, je pro činnost ochrany nutno znát základní a vyšší harmonické složky (do 5. harmonické) rozdílového proudu a základní složku omezovacího proudu, a to pro všechny 3 fáze.

Rozdílové proudy jsou:

$$i_{ra} = i_{1a}(t) - i_{2a}(t) - i_{2c}(t)$$

$$i_{rb} = i_{1b}(t) - i_{2b}(t) - i_{2a}(t)$$

$$i_{rc} = i_{1c}(t) - i_{2c}(t) - i_{2b}(t)$$

Omezující proudy jsou:

$$i_{oa} = \frac{i_{1a}(t) + i_{2a}(t) - i_{2c}(t)}{2}$$

$$i_{ob} = \frac{i_{1b}(t) + i_{2b}(t) - i_{2a}(t)}{2}$$

$$i_{oc} = \frac{i_{1c}(t) + i_{2c}(t) - i_{2b}(t)}{2}$$

Rozdílový proud tedy získáme kombinací základních složek z rozdílových proudů ve všech fázích:

$$I_1^2 = I_R^2 = \sum_{a,b,c} h_1^2$$

Signál na blokování ochrany proti proudovým nárazům získáme kombinací 2. a 4. harmonické složky rozdílového proudu ve všech fázích:

$$I_{24}^2 = \sum_{a,b,c} h_2^2 + h_4^2$$

Signál pro omezující funkci při přebuzení transformátoru získáme kombinací 5. harmonických složek rozdílového proudu ve všech fázích:

$$I_5^2 = \sum_{a,b,c} h_5^2$$

Citlivost rozdílové ochrany je mírně limitovaná pro zemní poruchy. Proto je použita i zemní ochrana, jejíž citlivost je zvýšená použitím oddělené primární a sekundární zemní ochrany. Na primární straně transformátoru (trojúhelník) je zemní poruchový proud:

$$i_{1z} = i_{1a}(t) + i_{1b}(t) + i_{1c}(t)$$

Na sekundární straně transformátoru (hvězda) je zemní poruchový proud:

$$i_{2z} = i_{2a}(t) + i_{2b}(t) + i_{2c}(t)$$

Pro zemní ochranu se uvažují základní harmonické složky obou zemních poruchových proudů a porovnávají se stejně jako rozdílové proudy s nastavenou prahovou hodnotou rozběhového proudu.

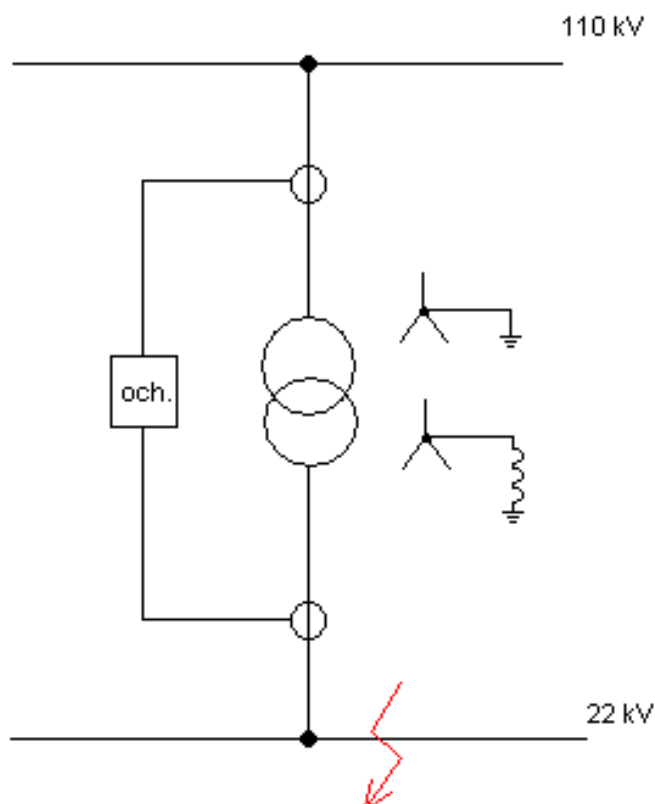
Na výpočet (odhad) složek proudových signálů (základního a harmonických) transformátoru se uvažuje 11-stavový filtr, aby vyhověl i vyšší řádům harmonických složek v signálu, přičemž je použito 8 z 11 stavových filtrů, tři pro rozdílové proudy, tři pro omezující proudy a dva pro zemní poruchové proudy. [4]

7 NÁVRH NASTAVENÍ ROZDÍLOVÉ OCHRANY

Cílem praktické části práce je návrh nastavení rozdílové ochrany pro konkrétní transformátor.

Návrh nastavení rozdílové ochrany se skládá z výběru vhodné rozdílové ochrany a její nastavení pro konkrétní transformátor, který je umístěn v transformovně 110/22kV s třífázovým zkratovým výkonem 2600MVA, s ohledem na všechny okolnosti (přepínač odboček transformátoru, příčiny falešných proudů, aj.). Při výběru samotného transformátoru je nutno dbát na požadované zadané parametry.

Je nutné také navrhnout vhodné PTP (jejich převod dle jmenovitých proudů transformátorů, výkon). Vzhledem k situaci (obr.7.1.) budeme uvažovat poruchový stav – trojfázový souměrný zkrat.



Obr. 7. 1 Schéma zadání práce

7.1 Chráněný transformátor a jeho parametry [9]

Zadané požadavky na výkonový transformátor, pro který bude navrženo nastavení rozdílové ochrany: převod 110/22 kV, jm. výkon 40 MVA, zapojení Yy0. Těmto požadavkům vyhovuje např. výkonový transformátor firmy Siemens, typ SV40-123/F.

Parametry výkonového transformátoru Siemens SV40-123/F, rok výroby 2005:

Velikost primárního napětí	U_{1n}	[kV]	$110 \pm 16\%$
Velikost sekundárního napětí	U_{2n}	[kV]	23
Frekvence	f	[Hz]	50
Jmenovitý výkon	S_{rT}	[MVA]	40
Primární proud (110kV)	I_{1n}	[A]	209,9
Sekundární proud	I_{2n}	[A]	1004,1
Doba trvání zkratu	t_k	[s]	2
Ztráty nakrátko	ΔP_{kT}	[kW]	152
Napětí nakrátko	u_k	[%]	11,2
Ztráty naprázdno	ΔP_0	[kW]	22
Proud naprázdno	i_0	[%]	0,2
Možnost zapojení Y(D)y(d)0			

Tab. 4 Parametry transformátoru firmy Siemens, typ SV40-123/F. [9]

Transformátor je vybaven přepínačem odboček na primární straně (VVN) s možností regulace primárního napětí 16%. Je chlazen metodou ONAN – transformátor s olejovým chlazením v uzavřené nádobě, která je ochlazovaná vzduchem. Je v zapojení Yy0, strana VVN je účinně uzemněna, strana VN neúčinně uzemněna přes zhášecí tlumivku (viz obr.7.1.).



Obr. 7. 2 Výkonový transformátor Siemens, typ SV40-123/F. [9]

7.2 Výběr rozdílové ochrany

V zadání práce není preferován žádný výrobce, proto byla zvolena digitální rozdílová ochrana Siemens SIPROTEC 7UT612, ke které jsou volně k dispozici všechny materiály a na rozdíl od ostatních výrobců je není nutné konzultovat přímo s dodavatelem.

7.2.1 SIPROTEC 7UT612 - všeobecné údaje, vlastnosti, oblast použití [8]

Digitální rozdílová ochrana SIPROTEC 7UT612 je selektivní zkratová ochrana pro transformátory všech napěťových úrovní, pro točivé stroje, pro podélné a příčné tlumivky a rovněž pro krátká vedení a nejmenší přípojnice se dvěma vývody. Jako jednofázový přístroj může být nasazen rovněž pro malé přípojnice s až 7 vývody. Způsob nasazení je nastavitelný, takže je zaručeno optimální přizpůsobení k chráněnému objektu. Přístroj může být provozován také ve dvoufázovém zapojení pro použití v sítích 16 2/3 Hz.



Obr. 7. 3 Digitální rozdílová ochrana Siemens SIPROTEC 7UT612 [8]

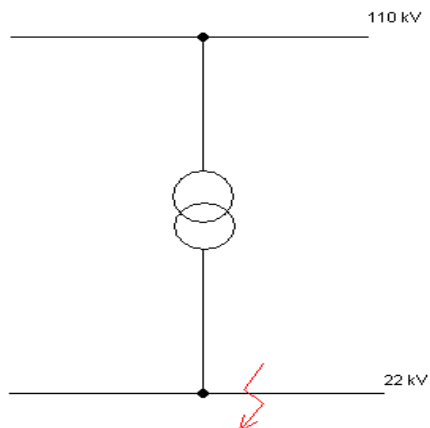
Jako transformátorová ochrana je 7UT612 zapojena zpravidla na sadu proudových transformátorů vyšší a nižší strany silového transformátoru. Sled fází a zapojení vinutí jsou v přístroji přizpůsobeny početně. Zemnění uzlu hvězdy vinutí transformátoru může být libovolné a je automaticky zohledněno. Pro transformátory (také v úsporném zapojení), generátory nebo příčné tlumivky s uzemněnou hvězdou může být realizována rovněž vysokoimpedanční zemní rozdílová ochrana. Tuto ochranu vzhledem k uvažované situaci (viz. obr. 7.1.) nebudeme uvažovat.

Vlastnosti ochrany SIPROTEC – rozdílové ochrany transformátoru:

- Proudově stabilizovaná vypínací charakteristika
- Stabilizace proti zapínacímu proudu pomocí 2.harmonické
- Stabilizace proti přechodným nebo trvalým poruchovým proudům, způsobených např.: přeregulací, s nastavitelnou další harmonickou (3., nebo 5. harmonická)
- 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

7.3 Výpočet zkratových poměrů [10]

Výpočet poruchového stavu je prováděn pro zadaný stav – trojfázový souměrný zkrat a to k místu poruchy, jenž je znázorněno na obr.7.3.



Obr. 7. 4 Schéma pro výpočet zkratových poměrů

Parametry transformátoru potřebné pro výpočet:

$$U_{1n} = 110kV$$

$$U_{2n} = U_{rT} = 23kV$$

$$S_{rT} = 40MVA$$

$$\Delta P_{KT} = 152kW$$

$$u_k = 11,2\%$$

$$t_k = 2s$$

$$S_k = 2600MVA$$

$$I_{1n} = 209,9A$$

$$I_{2n} = 1004,1A$$

Pro výpočet sousledné složky zkratové impedance v komplexním tvaru je potřeba znát činnou a jalovou složku napětí nakrátko:

$$u_k = \sqrt{u_r^2 + u_x^2}$$

Činná složka napětí nakrátko:

$$u_r = \frac{\Delta P_{KT}}{S_{rT}} = \frac{152000}{40000000} \cdot 100 = 0,38\%$$

Jalová složka napětí nakrátko:

$$u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = \sqrt{11,2^2 - 0,38^2} = 11,193\%$$

Rezistance transformátoru:

$$R_T = u_r \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = 0,0038 \frac{23000^2}{40000000} = 0,05\Omega$$

Reaktance transformátoru:

$$X_T = u_x \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = 0,11193 \frac{23000^2}{40000000} = 1,48\Omega$$

Sousledná zkratová impedance transformátoru:

$$\overline{Z}_T = R_T + jX_T = (0,05 + 1,48j)\Omega$$

Dle normy ČSN EN 60909 se musí zkratová impedance transformátoru přepočítat pomocí korekčního činitele. Ten se vypočítá následujícím způsobem:

Poměrná reaktance transformátoru:

$$x_t = \frac{X_T}{U_{rT}^2 / S_{rT}} = \frac{1,48}{23000^2 / 40000000} = 0,112$$

Korekční činitel:

$$K_T = 0,95 \frac{c_{\max}}{1 + 0,6x_t}, \text{ kde } \dots c_{\max} = 1,1$$

$$K_T = 0,95 \frac{1,1}{1 + 0,6 \cdot 0,112} = 0,98$$

Zkratová impedance transformátoru s uvažováním korekčního činitele:

$$Z_{TK} = K_T (R_T + jX_T) = 0,98 \cdot (0,05 + 1,48j) = (0,049 + 1,45j)\Omega$$

Vnitřní impedance sítě (v bodě 110 kV):

$$Z_q = \frac{c \cdot U_V^2}{S_{ks}} = \frac{1,1 \cdot 110000^2}{2600 \cdot 10^6} = 5,12\Omega$$

Reaktance sítě:

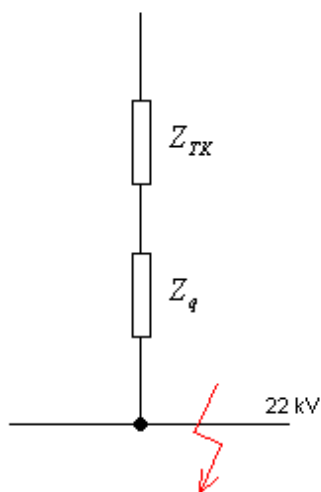
$$X_T = 0,995 \cdot Z_q = 0,995 \cdot 5,12 = 5,09\Omega$$

Rezistance sítě:

$$R_T = 0,1 \cdot Z_q = 0,1 \cdot 5,09 = 0,509\Omega$$

Celková sousledná zkratová impedance k místu poruchy:

$$\underline{\underline{Z_C}} = Z_{TK} + Z_q = (0,049 + 1,45j) + (0,509 + 5,09j) = \underline{\underline{(0,558 + 6,54j)\Omega}}$$



Obr. 7. 5 Celková sousledná zkratová impedance k místu poruchy

Počáteční 3 fázový rázový zkratový proud:

$$\underline{I_k''} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_C|} = \frac{1,1 \cdot 23000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,558^2 + 6,54^2}} = \underline{2,22kA}$$

Počáteční zkratový výkon:

$$\underline{S_k''} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k'' = \sqrt{3} \cdot 23000 \cdot 2,25 \cdot 10^3 = \underline{89,63MVA}$$

Nárazový zkratový proud:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'', \text{ kde } \dots \kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{0,558}{6,54}} = 1,8$$

$$\underline{i_p} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,22 \cdot 10^3 = \underline{5,65kA}$$

7.4 Návrh PTP

Návrh vhodných PTP je nezbytný pro správnou funkci rozdílové ochrany. Princip a funkce PTP jsou vysvětleny v kapitole 5.2., zde se tedy budeme zabývat pouze návrhem. Použijeme PTP firmy ABB, které jsou nejrozšířenější. Pro navržené PTP je nutno vypočítat nadproudové činitele a srovnat je s doporučenými hodnotami pro vybranou digitální ochranu. Tak se zkontroluje správnost výběru.

7.4.1 PTP na straně VVN [11]

Pro stranu vyššího napětí 110 kV využijeme PTP typu IMB pro venkovní prostředí, které jsou navrženy na napětí soustavy 36 – 800 kV. Pro náš transformátor budeme vycházet pouze z řady IMB 36 – 170 kV. Jelikož parametry těchto PTP jsou čistě na dohodě s výrobcem, budeme vycházet z katalogu, který je zákazníkům k dispozici na webových stránkách firmy ABB.

Přístrojové transformátory proudu typu IMB se využívají pro měření a ochranu v sítích VVN a se svou izolací olej-papír a hlavovou konstrukcí jsou nejprodávanější PTP na světě. Využívají se nejen pro svou nízkou poruchovost (až 4x nižší poruchovost než u jiných typů), ale také pro svou širokou využitelnost (pro své nízké těžiště jsou vhodné do oblastí s vysokou seismickou činností), ale také pro nízkou náročnost v oblasti údržby. Jsou navrženy a vyráběny v souladu s následujícími normami a doporučeními: IEC, VDE, ANSI, BS, GOST a ČSN.

Jejich typové označení je závislé na napěťové soustavě a je následující:

IMB, řada 36 – 170 kV	... typ: 36, 72, 123, 145, 170
IMB, řada 245 kV	... typ: 245
IMB, řada 300 – 420 kV	... typ: 300, 360
IMB, řada 420 – 550 kV	... typ: 420, 550
IMB, řada 800 kV	... typ: 800

Jednotlivé typy se od sebe liší svými parametry, rozměry atd.

Základní parametry PTP IMB 36-170:

Jmenovité primární napětí	[kV]	36 – 170
Jmenovitý primární proud	[A]	do 4000
Jmenovitý sekundární proud	[A]	1; 5
Jmenovitý kmitočet	[Hz]	16,7; 50; 60
Zkušební napětí střídavé	[kV]	70 – 325
Zkušební napětí impulsní	[kV]	170 – 550
Třídy přesnosti	[cl]	0,2; 0,5; 1; 3; 5; 5P; 10P

Tab. 5 Parametry PTP, typ IMB 36-170 [11]

Pro návrh budeme vycházet z následujících parametrů:

Jmenovitý primární proud transformátoru (viz tab. 4): 209,9 A

Jmenovitý proud rozdílové ochrany: 1 A

Pakliže vezmeme v úvahu výše požadované parametry na přístrojové transformátory, typové označení námi potřebných PTP bude vypadat následovně – IMB 123.

Zvolené PTP – IMB 123 (do 123 kV), mají sekundární proud 1 A – převod je tedy 250/1, třídu přesnosti 5P nezbytnou pro ochrany, jmenovitý výkon (zátěž) 25 VA, hodnotu krátkodobého tepelného proudu 16 kA a hodnotu dynamického proudu 43 kA (zkrat) a jmenovité nadproudové číslo 10. Pracuje na frekvenci 50 Hz.



Obr. 7. 6 Přístrojový transformátor proudu firmy ABB, typ IMB [11]

7.4.2 PTP na straně VN [12] [13]

Pro stranu nižšího napětí 22 kV využijeme PTP typu TPO pro venkovní prostředí, které jsou navrženy na napětí soustavy 17,5 nebo 25 kV. Jelikož parametry těchto PTP jsou opět čistě na dohodě s výrobcem, budeme vycházet z katalogu, který je zákazníkům k dispozici na webových stránkách firmy ABB.

Přístrojové transformátory proudu typu TPO pro venkovní prostředí jsou konstruovány jako jednozávitové nebo vícezávitové s možností přepínání na primární nebo sekundární straně. Počet sekundárních vinutí může být 1 – 4. Tyto PTP mohou být provozovány v jakékoliv pozici, jsou navrženy a vyráběny v souladu s následujícími normami a doporučeními: IEC, VDE, ANSI, BS, GOST a ČSN.

Jejich typové označení je následující:

TPO 6x . 1y , kde...

x ... nejvyšší pr. proud (0-6; 10-2500A) / jedno, nebo vícezávitové provedení (0, 1-6)

1 ... konstrukční verze

y ... přepínatelné (1), nebo nepřepínatelné (2) na primární straně

Základní parametry:

Jmenovité primární napětí	[kV]	17,5; (24) 25
Jmenovitý primární proud	[A]	10 – 2500
Jmenovitý sekundární proud	[A]	1; 5
Jmenovitý kmitočet	[Hz]	50; 60
Zkušební napětí střídavé	[kV]	38; (50) 55
Zkušební napětí impulsní	[kV]	do 100
Třídy přesnosti	[cl]	0,2; 0,5; 1; 5P; 10P

Tab. 6 Parametry PTP - TPO [12]

Pro návrh budeme vycházet z následujících parametrů:

Jmenovitý sekundární proud transformátoru (viz tab. 4): 1004,1 A

Jmenovitý proud rozdílové ochrany: 1A

Pakliže vezmeme v úvahu výše požadované parametry na přístrojové transformátory, typové označení námi potřebných PTP bude vypadat následovně:

TPO 63.11, kde...

3 ... primární proud PTP je 1250 A, vícezávitové provedení

1 ... označení konstrukční verze

1 ... nepřepínatelné na primární straně

Zvolené PTP – TPO 63.11, mají sekundární proud 1A – převod je tedy 1250/1, třídu přesnosti 5P nezbytnou pro ochrany, jmenovitý výkon (zátěž) 30 VA, hodnotu krátkodobého tepelného proudu 80 kA a hodnotu dynamického proudu 200 kA (zkrat) a jmenovité nadproudové číslo 10. Pracuje na frekvenci 50 Hz.



Obr. 7. 7 Přístrojový transformátor proudu pro venkovní prostředí firmy ABB TPO 6 [12]

7.4.3 Výpočet nadproudových činitelů [8] [14] [15]

Požadavky na měniče pro rozdílové ochrany jsou vždy vyšší než například měniče pro nadproudové ochrany. Je zde vždy nutno dodržet doporučení výrobce použité ochrany. Orientačně je možno podle známého vzorce odvozeného pro elektromechanické rozdílové ochrany určit doporučený nadproudový činitel:

$$n^* = 0,7 \frac{X}{R} \cdot \frac{I_k}{I_n}, \text{ kde...}$$

n^* ... nadproudový činitel měniče přepočítané na skutečnou zátěž

$\frac{X}{R}$... časová konstanta obvodu od zdroje až do místa zkratu – pro běžné hodnoty sítě

110 kV je tato hodnota rovna přibližně 10

$\frac{I_k}{I_n}$... zkratový násobek pro zkrat za transformátorem

Moderní mikroprocesorové ochrany mají zpravidla nižší požadavky na nadproudový činitel měničů. Dokonalejší a dražší ochrany dokonce rozeznají přesycení měničů a umí předvídat průběh proudu už z malého vzorku. Je třeba dodržet doporučení výrobce. V případě použité diferenciální ochrany Siemens SIPROTEC 7UT612 je doporučený nadproudový činitel (viz. příloha C):

$$n^* \geq 5 \cdot \frac{I_{k \max}}{I_N}$$

Výpočet pro PTP na straně VVN:

Zkrat za transformátorem:

$$I_k = \frac{100}{u_k} \cdot I_{nrf} = \frac{100}{11,2} \cdot 209,9 = 1874,2 \text{ A}$$

Průchozí zkrat:

$$\frac{I_k}{I_n} = \frac{1874,2}{250} = 7,5$$

Nadproudový činitel:

$$n^* = 0,7 \frac{X}{R} \cdot \frac{I_k}{I_n} = 0,7 \cdot 10 \cdot 7,5 = 52,5$$

Nyní musíme určit skutečné nadproudový činitel, který je dán sekundárním zatížením tohoto PTP. Určí se ze vztahu:

$$n^* = n_n \cdot \frac{R_N + R_V}{R_B + R_V}, \text{ kde...}$$

n_n ... jmenovité nadproudové číslo PTP = 10

R_N ... jmenovitá zátěž PTP, určena vztahem: $R_N = \frac{S_N}{I_{nsek}^2} = \frac{25}{1^2} = 25\Omega$

R_V ... odpor vinutí PTP = 2Ω - dle výrobce

R_B ... připojená zátěž PTP, je rovna součtu odporu svorek, ochrany a vodiče:

$R_{ochrany} = 0,02\Omega$ - dle výrobce

$R_{vodičo-Cu}$ - délka 30m, průřez 1mm^2

$$R_{vodičo-Cu} = 2\rho \cdot \frac{l}{S} = 2 \cdot 0,0178 \cdot \frac{30}{1} = 1,08\Omega$$

$R_{svorek} = 0,1\Omega$

$R_B = R_{ochrany} + R_{vodičo} + R_{svorek} = 0,02 + 1,08 + 0,1 = 1,2\Omega$

Skutečný nadproudový činitel pro PTP na straně VVN je pak rovno:

$$\underline{\underline{n_{VVN}^*}} = n_n \cdot \frac{R_N + R_V}{R_B + R_V} = 10 \cdot \frac{25 + 2}{2 + 1,2} = \underline{\underline{84,37}}$$

Výpočet pro PTP na straně VN:

Zkrat za transformátorem:

$$I_k = \frac{100}{u_k} \cdot I_{ntrf} = \frac{100}{11,2} \cdot 10041 = 8965,1\text{A}$$

Průchozí zkrat:

$$\frac{I_k}{I_n} = \frac{8965,1}{1250} = 7,2$$

Nadproudový činitel:

$$n^* = 0,7 \frac{X}{R} \cdot \frac{I_k}{I_n} = 0,7 \cdot 10 \cdot 7,2 = 50,4$$

Nyní musíme určit skutečný nadproudový činitel, který je dán sekundárním zatížením tohoto PTP. Určí se ze vztahu:

$$n^* = n_n \cdot \frac{R_N + R_V}{R_B + R_V}, \text{ kde...}$$

n_n ... jmenovité nadproudové číslo PTP = 10

R_N ... jmenovitá zátěž PTP, určena vztahem: $R_N = \frac{S_N}{I_{nsek}^2} = \frac{30}{1^2} = 30\Omega$

R_V ... odpor vinutí PTP = 2,5 Ω - dle výrobce

R_B ... připojená zátěž PTP, je rovna součtu odporu svorek, ochrany a vodiče:

$R_{ochrany} = 0,02\Omega$ - dle výrobce

$R_{vodičo-Cu}$ - délka 30m, průřez 1mm²

$$R_{vodičo-Cu} = 2\rho \cdot \frac{l}{S} = 2 \cdot 0,0178 \cdot \frac{30}{1} = 1,08\Omega$$

$R_{svorek} = 0,1\Omega$

$$R_B = R_{ochrany} + R_{vodičo} + R_{svorek} = 0,02 + 1,08 + 0,1 = 1,2\Omega$$

Skutečný nadproudový činitel pro PTP na straně VN:

$$\underline{\underline{n^*_{VN}}} = n_n \cdot \frac{R_N + R_V}{R_B + R_V} = 10 \cdot \frac{30 + 2,5}{2,5 + 1,2} = \underline{\underline{87,84}}$$

Doporučené nadproudové činitele výrobcem ochrany:

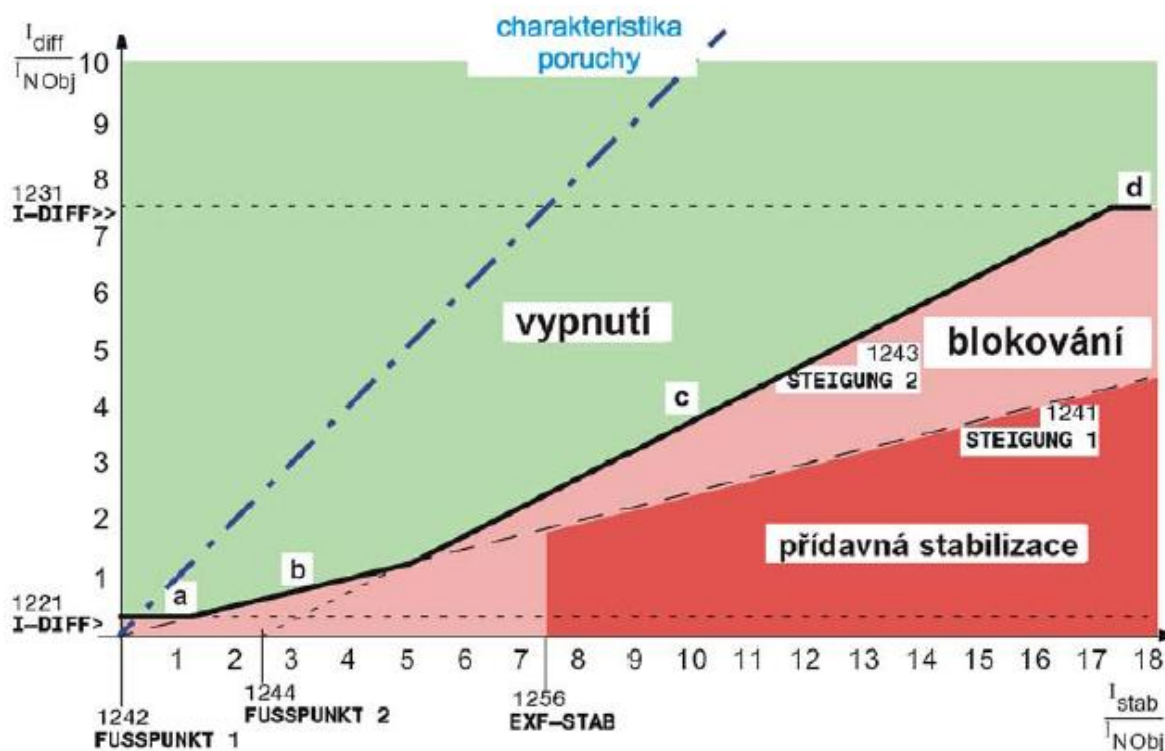
$$\underline{\underline{n^*_{VVN}}} \geq 5 \cdot \frac{I_{kmax}}{I_N} = 5 \cdot \frac{1874,2}{250} = \underline{\underline{37,5}}$$

$$\underline{\underline{n^*_{VN}}} \geq 5 \cdot \frac{I_{kmax}}{I_N} = 5 \cdot \frac{8965,1}{1250} = \underline{\underline{35,8}}$$

Z uvedených výpočtů je zřejmé, že námi navržené PTP vyhoví s rezervou. Je to dáno zejména tím, že moderní mikroprocesorové ochrany mají nižší vnitřní impedanci, než ochrany elektromechanické.

7.5 Návrh nastavení ochranné funkce rozdílové ochrany [8] [14] [15]

V této kapitole se budeme zabývat nastavením ochranné funkce rozdílové ochrany SIPROTEC 7UT612. Konfigurace ochrany se provádí pomocí počítače a programu DIGSI 4. Jelikož programování ochrany pomocí tohoto nástroje není předmětem této bakalářské práce, výstupem bude vypínací charakteristika a tabulka s výpisem nastavení ochrany. Při návrhu nastavení budeme využívat manuál k ochraně, získaný od výrobce (výtahy viz. příloha C,D).



Obr. 7. 8 Příklad vypínací charakteristiky ochrany 7UT612 [8]

- a) – představuje mez citlivosti (hodnota **I-DIFF>**) a respektuje konstantní proudové chyby jako např. magnetizační proudy.
- b) – zohledňuje proudově proporcionální chyby, které se vyskytují kvůli chybám převodu proudových transformátorů a vstupních transformátorů přístroje, nebo např. odchylkám v přizpůsobení a přepínání stupňů u transformátorů s regulací napětí.
- c) – v oblasti velkých proudů, které mohou vyvolat přesycení proudových transformátorů, se stará část c o silnější stabilizaci.
- d) – při rozdílových proudech nad částí **d** dojde k vypnutí nezávisle na stabilizačním proudu a stabilizaci harmonickými (hodnota **I-DIFF>>**). Toto je tedy oblast „rychlého vypnutí při velkých zkratových proudech“.

7.5.1 Nastavení ochranné funkce

Parametry vypínací charakteristiky se nastavují na adresách 1221 až 1256A.

I-DIFF> (adresa **1221**) – náběhová hodnota rozdílového proudu. Toto je celkový proud, který vtéká při zkratu do chráněné oblasti, nezávisle na tom, na které straně chráněného objektu se vyskytne. Náběhová hodnota se vztahuje na jmenovitý proud. U transformátorů, tlumivek, generátorů a motorů se může zvolit citlivější nastavení (přednastaveno $0,2I_{N\text{ obj}}$). Při velmi

velkých odchylkách jmenovitých proudů proudových transformátorů od jmenovitého proudu chráněného objektu se musí počítat s větší tolerancí měření.

V našem případě je poměr jmenovitých primárních proudů PTP $1250/250 = 5$ a tedy nastavení základní citlivosti bude 5%. Při zohlednění přepínače odboček transformátoru $\pm 16\%$ je nutné nastavit větší hodnotu, např. 25%:

$$\mathbf{I-DIFF} > = 0,25 I/InO$$

T I-DIFF > (adresa **1226A**) – časové zpoždění, nastavíme na hodnotu 0s. Využijeme tak vysokou selektivitu použité ochrany. Ochrana bude působit mžikově.

$$\mathbf{T I-DIFF} > = 0,00 \text{ s}$$

I-DIFF >> (adresa **1231**) – hodnota reprezentující oblast rychlého vypnutí při velkých zkratových proudech. Tuto hodnotu určíme pomocí hodnoty průchozího zkratu:

$$I_k = \frac{1}{u_k} \cdot I_{ntrf} = \frac{1}{0,112} \cdot 209,9 = 1874,1 \text{ A}$$

$$I - DIFF >> = \frac{I_k}{I_{ntrf}} = \frac{1874,1}{209,9} = 8,9$$

Vyšší hodnota než 8,9 pak znamená velký zkratový proud, který je nutno hned vypnout.

$$\mathbf{I-DIFF} >> = 9 I/InO$$

T I-DIFF >> (adresa **1236A**) – časové zpoždění vypínacího stupně **I-DIFF >>** opět nastavíme na hodnotu 0s.

$$\mathbf{T I-DIFF} >> = 0,00 \text{ s}$$

Vypínací charakteristika sestává ze dvou dalších úsečků (viz. obr. 7.8.):

FUSSPUNKT 1 (adresa **1242A**) a **STEIGUNG 1** (adresa **1241A**) – určují první úsečku. Tato úsečka zohledňuje proudově proporcionální falešné proudy. Toto jsou hlavně chyby převodu hlavních proudových transformátorů a u transformátorů také rozdílové proudy, vznikající v důsledku případného rozsahu regulace v koncových polohách přepínače odboček. Volíme nastavení:

počáteční bod: **FUSSPUNKT 1** = 0,00 I/InO
sklon: **STEIGUNG 1** = 0,25

FUSSPUNKT 2 (adresa **1244A**) a **STEIGUNG 2** (adresa **1243A**) - druhá úsečka, vede k vyšší stabilizaci v oblasti vysokých proudů, při kterých se může vyskytnout přesycení proudových transformátorů. S pomocí této části charakteristiky se může ovlivňovat stabilita při přesycení proudových transformátorů. Větší sklon znamená větší stabilizaci. Volíme nastavení:

počáteční bod: **FUSSPUNKT 2** = 2,50 I/InO
sklon: **STEIGUNG 2** = 0,50

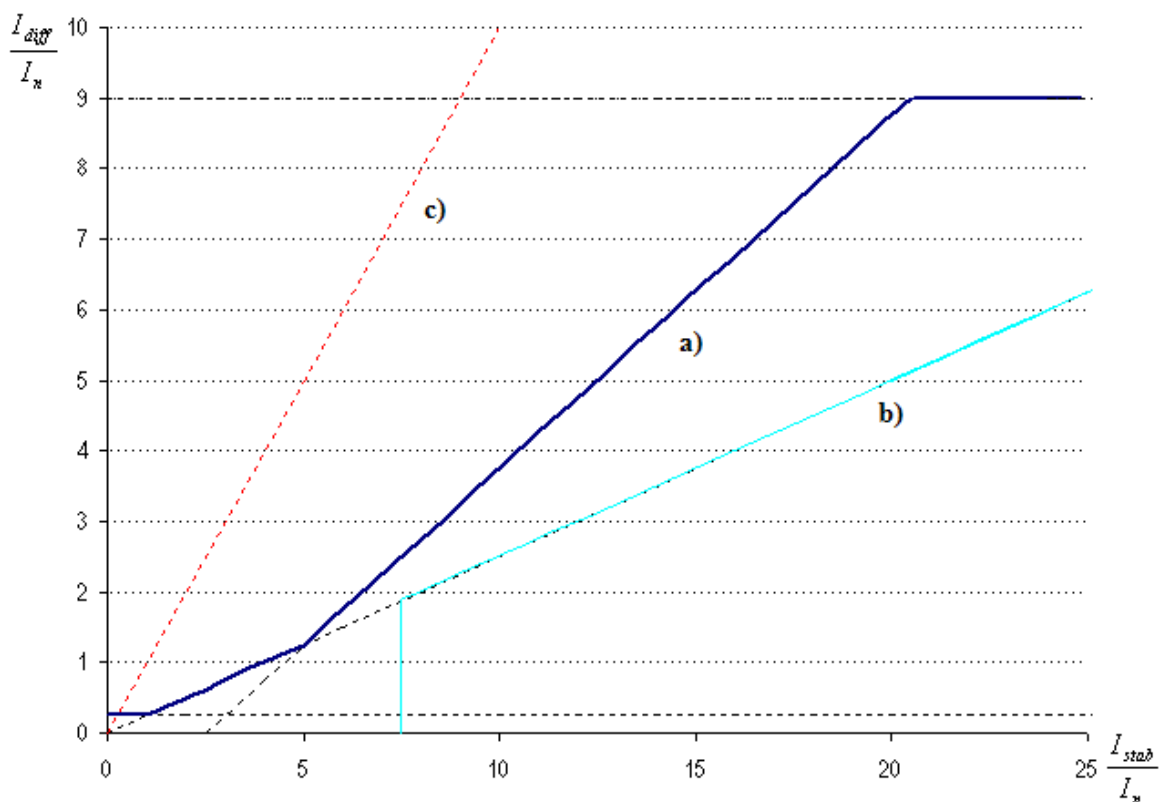
Nastavení sklonu 25% první úsečky a 50% druhé úsečky je optimální pro většinu aplikací.

EXF-STAB (adresa **1256A**) – přídavná stabilizace je v činnosti v oblasti velmi velkých protékajících proudů při vnějších zkratech (viz. obr. 7.8.). Hodnota se vztahuje na jmenovitý proud chráněného objektu. Sklon je stejný jako u úsečky charakteristiky b (**STEIGUNG 1**, adresa **1241A**).

počáteční bod: **EXF-STAB** = 7,5 I_{InO}

sklon: **STEIGUNG 1** = 0,25

Charakteristika poruchy – při vnitřní poruše je rozdílový proud roven stabilizačnímu, charakteristice poruchy proto odpovídá přímka se sklonem 45°.



Obr. 7.9 Výsledná vypínací charakteristika

- a) Výsledná vypínací charakteristika
- b) Přídavná stabilizace
- c) Charakteristika poruchy

Výpis nastavení je v následující tabulce:

Vstupní parametry:

adresa	parametr	možnosti nastavení	nastaveno	vysvětlení
105	SCHUTZOBJEKT	3f, 1f transformátor, motor/ generátor, přípojnice	trojfázový transformátor	chráněný objekt
270	NENNFREQUENZ	50; 60; 16 2/3 Hz	50 Hz	jm. frekvence
240	UN WICKL S1	0,4...800 kV	110 kV	jm. napětí strany 1
242	SCHALT. ART S1	Y,D,Z	Y	způsob zapojení strany 1
243	UN WICKL S2	0,4...800 kV	23 kV	jm. napětí strany 2
245	SCHALT. ART S2	Y,D,Z	Y	způsob zapojení strany 2
246	SCHALT.GRUPPE	0..11	0	skupina spojení strany 2
249	SN TRAFO	0..20..5000 MVA	40 MVA	jm. zdánlivý výkon
202	IN-PRI IN-WDL S1	1...100000 A	250 A	primární jm. proud PTP strany 1
203	IN-SEK IN-WDL S1	1; 5A	1 A	sekundární jm. proud PTP strany 1
207	IN-PRI IN-WDL S2	1...100000 A	1250 A	primární jm. proud PTP strany 2
208	IN-SEK IN-WDL S2	1; 5A	1 A	sekundární jm. proud PTP strany 2

Tab. 7 Nastavení vstupních parametrů

Nastavení ochranné funkce:

adresa	parametr	možnosti nastavení	nastaveno	vysvětlení
112	DIFF.SCHUTZ	aktivovat, neaktivovat	aktivovat	rozdílová ochrana
1205	KL-ERHÖH ANLAUF	vyp/zap	zap	zvýšení náběhových hodnot při rozběhu
1206	INRUSH 2.harm	vyp/zap	zap	stabilizace při zapnutí 2. harmonickou
1207	STAB. n-harm	vypnuto;3.harm;5.harm	5.harm	stabilizace n-tou harmonickou
1221	I-DIFF>	0,05...2 I/InO	0,25 I/InO	náběhová hodnota vypínacího stupně I-DIFF>
1226A	T I-DIFF>	0.00...60.00s	0.00 s	časové zpoždění vypínacího stupně I-DIFF>
1231	I-DIFF>>	0.5...35 I/InO	9 I/InO	náběhová hodnota vypínacího stupně I-DIFF>>
1236A	T I-DIFF>>	0.00...60.00s	0.00 s	časové zpoždění vypínacího stupně I-DIFF>>
1241A	STEIGUNG 1	0.10...0.50	0.25	sklon 1 vypínací charakteristiky
1242A	FUSSPUNKT 1	0.00...2.00 I/InO	0.00 I/InO	začátek sklonu 1 vypínací charakteristiky
1243A	STEIGUNG 2	0.25...0.95	0.50	sklon 2 vypínací charakteristiky
1244A	FUSSPUNKT 2	0.00...10.00 I/InO	2.50 I/InO	začátek sklonu 2 vypínací charakteristiky
1256A	EXF-STAB	2.00...15 I/InO	7.5 I/InO	náběhová hodnota přidavné stabilizace

Tab. 8 Nastavení ochranné funkce

8 ZÁVĚR

8.1 Závěry práce

Cílem práce bylo v první části teoreticky se seznámit s druhy poruch, které mohou vzniknout v el. soustavě, příčinami jejich vzniku, omezením jejich účinků. Dále pak s principem chránění elektrickými ochranami, ochranami transformátorů, přístrojovými transformátory, které jsou důležitou součástí ochrany a podrobněji pak s rozdílovou ochranou transformátorů.

V praktické části pak na základě takto získaných znalostí provést návrh rozdílové ochrany pro konkrétní transformátor, umístěný v transformovně 110/22 kV. Nejprve byl vybrán chráněný transformátor. Návrh rozdílové ochrany zahrnoval kromě výběru vhodné rozdílové ochrany a nastavení její ochranné funkce také návrh přístrojových transformátorů proudu. Práce zahrnuje i příklad výpočtu zkratových poměrů s uvažováním korekčních činitelů.

Při výběru chráněného výkonového transformátoru se spolupracovalo s firmou Siemens. Jako chráněný objekt byl vybrán výkonový transformátor SV40-123/F, rok výroby 2005, který vyhovoval zadaným požadavkům: převod 110/23 kV, výkon 40 MVA, v zapojení Yy0. Strana VVN byla účinně uzemněna, strana VN neúčinně uzemněna přes zhášecí tlumivku. Pro zvolený transformátor byl proveden výpočet zkratových poměrů. Vypočtené výsledky pro trojfázový souměrný zkrat: Počáteční trojfázový rázový zkratový proud 2,22 kA, počáteční zkratový výkon 89,63 MVA, nárazový zkratový proud 5,65 kA.

Jako nejvhodnější se ukázal být výběr ochrany Siemens – SIPROTEC 7UT612, ke které jsou volně k dispozici všechny materiály a na rozdíl od ostatních výrobců je není nutné konzultovat přímo s dodavatelem. Digitální rozdílová ochrana SIPROTEC 7UT612 je selektivní zkratová ochrana pro transformátory všech napěťových úrovní, pro točivé stroje, pro podélné a příčné tlumivky, pro krátká vedení a nejmenší přípojnice se dvěma vývody.

Dalším krokem byl návrh přístrojových transformátorů proudu. Při tomto návrhu se spolupracovalo s firmou ABB, jejichž transformátory proudu jsou ve světě nejrozšířenější. Byly navrženy přístrojové transformátory proudu pro venkovní prostředí, pro stranu VVN typ IMB 123 s převodem 250/1, výkonem 25 VA a pro stranu VN typ TPO 63.11 s převodem 1250/1, výkonem 30 VA. Vhodnost jejich výběru byla ověřena výpočtem nadproudových činitelů.

Posledním krokem praktické části byl samotný návrh ochranné funkce rozdílové ochrany SIPROTEC 7UT612. Tento návrh zahrnoval nastavení vypínací charakteristiky ochrany s uvažováním všech příčin falešných rozdílových proudů, přepínání odboček výkonového transformátoru atd. Při návrhu bylo využíváno manuálu získaného od výrobce, jehož část je přiložena v příloze.

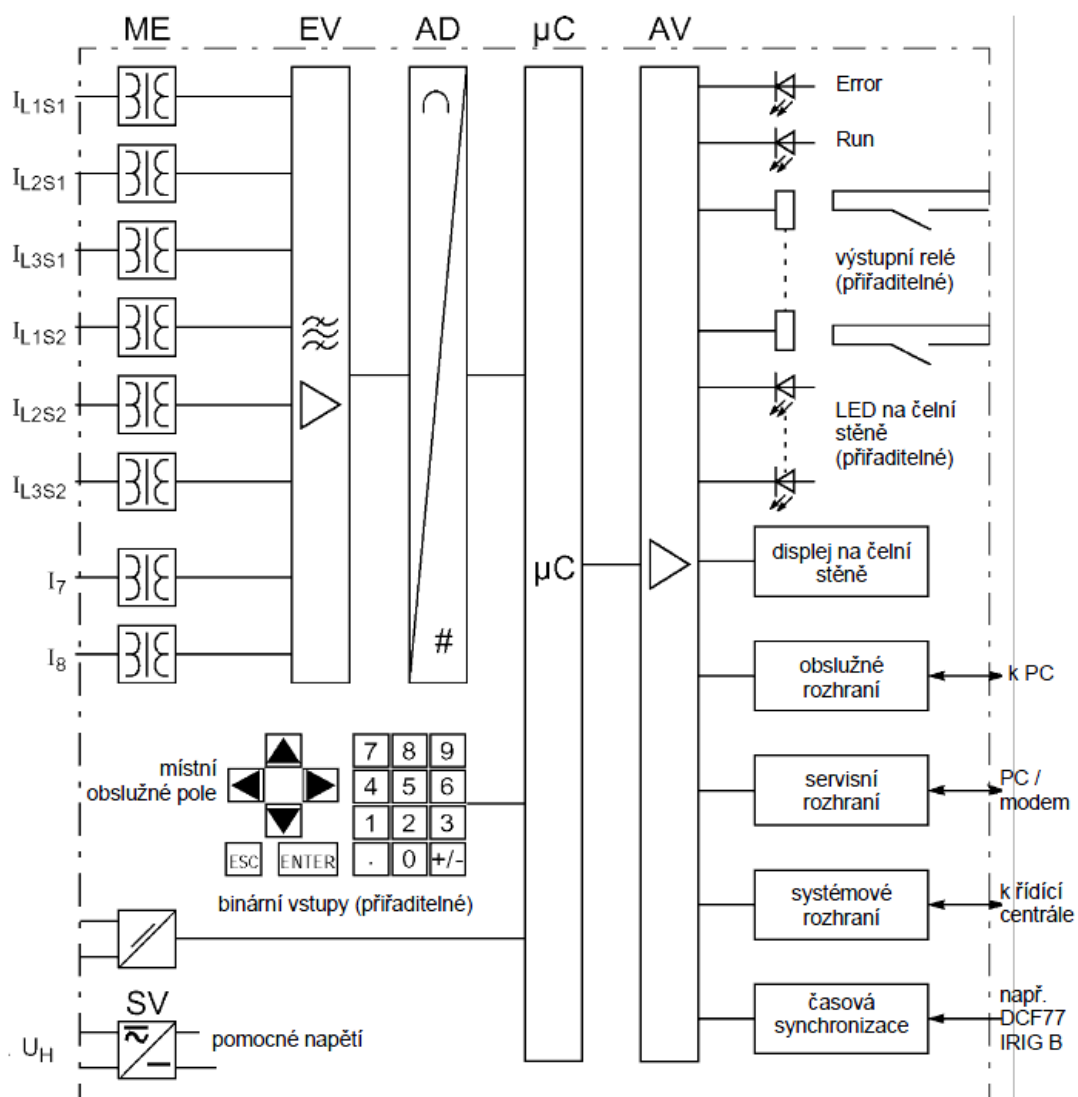
8.2 Využití dosažených výsledků, návrh dalšího postupu

Výsledkem bakalářské práce je konkrétní vypínací charakteristika rozdílové ochrany s výpisem nastavených parametrů v tabulce. Pomocí této tabulky je ochrana SIPROTEC 7UT612 vhodně nastavitelná pro zadanou situaci. Dalším postupem by mohlo být rozšíření práce o návrh dalších funkcí ochrany, které vzhledem k zadané situaci nebyly uvažovány.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DOHNÁLEK P., Ochrany pro průmysl a energetiku, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1978, 374 stran, L12-B3-IV-41/52289
- [2] FEJT Z., ČERMÁK J., Elektroenergetika, ČVUT Praha 1981, 360 stran
- [3] BLAŽEK V., SKALA P., Vysoké napětí a elektrické přístroje. Část I: Vysoké napětí, VUT Brno, 72 stran
- [4] JANÍČEK F., CHLADNÝ V., BELÁŇ A., ELESCHOVÁ Ž., Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave, STU – Slovenská technická univerzita 2004, 360 stran
- [5] HALUZÍK E., Ochrany a jištění energetických zařízení, VUT Brno, 63 stran
- [6] ABB Česká republika, Katalog produktů – Přístrojové transformátory a senzory (on-line) 2007, <http://www.abb.cz/product/us/9AAC720011.aspx>
- [7] JAVORA R., Sensorové technologie pro měření napětí a proudů, ABB Brno 2008, 17 stran
- [8] SIPROTEC 7UT612, příručka pro rozdílovou ochranu, Siemens 2002, C53000-G1100-C148-1, 340 stran
- [9] Siemens Bratislava, Katalog produktů – technické specifikace, výkonostní štítek, zpráva o zkouškách transformátoru, seznam komponentů a schématické diagramy, 2004
- [10] MEŠTER, Výpočet zkratových proudů v trojfázových striedavých sústavách, ABB Elektro, Bratislava 2005
- [11] ABB Česká republika, Katalog produktů – IMB Outdoor Current Transformers, Buyers Guide, 2008, 64 stran, on-line
<http://www.abb.cz/product/db0003db002618/c12573e7003302adc1256e480070c528.aspx>
- [12] ABB Česká republika, Katalog produktů – TPO6x.xx, Venkovní transformátory proudu, 2006, 4 strany, on-line
<http://www.abb.cz/product/db0003db004279/c125739900636470c125718e005a8c10.aspx?productLanguage=us&country=CZ>
- [13] ABB Česká republika, Katalog produktů – TPO6x.xx, Venkovní transformátory proudu – návod na montáž, použití a údržbu, 2009, 24 stran, on-line
<http://www.abb.cz/product/db0003db004279/c125739900636470c125718e005a8c10.aspx?productLanguage=us&country=CZ>
- [14] ZIEGLER G., Numerical Differential Protection, Publicis Corporate Publishing, Nuremberg 2005, 260 stran, ISBN 3-89578-234-3
- [15] GRYM, HOCHMAN, MACHOŇ, CHMELÍK, HANUŠ, TOMAN, Chránění III, IRIS 2005, 270 stran

PŘÍLOHA A – HW STRUKTURA ROZDÍLOVÉ OCHRANY

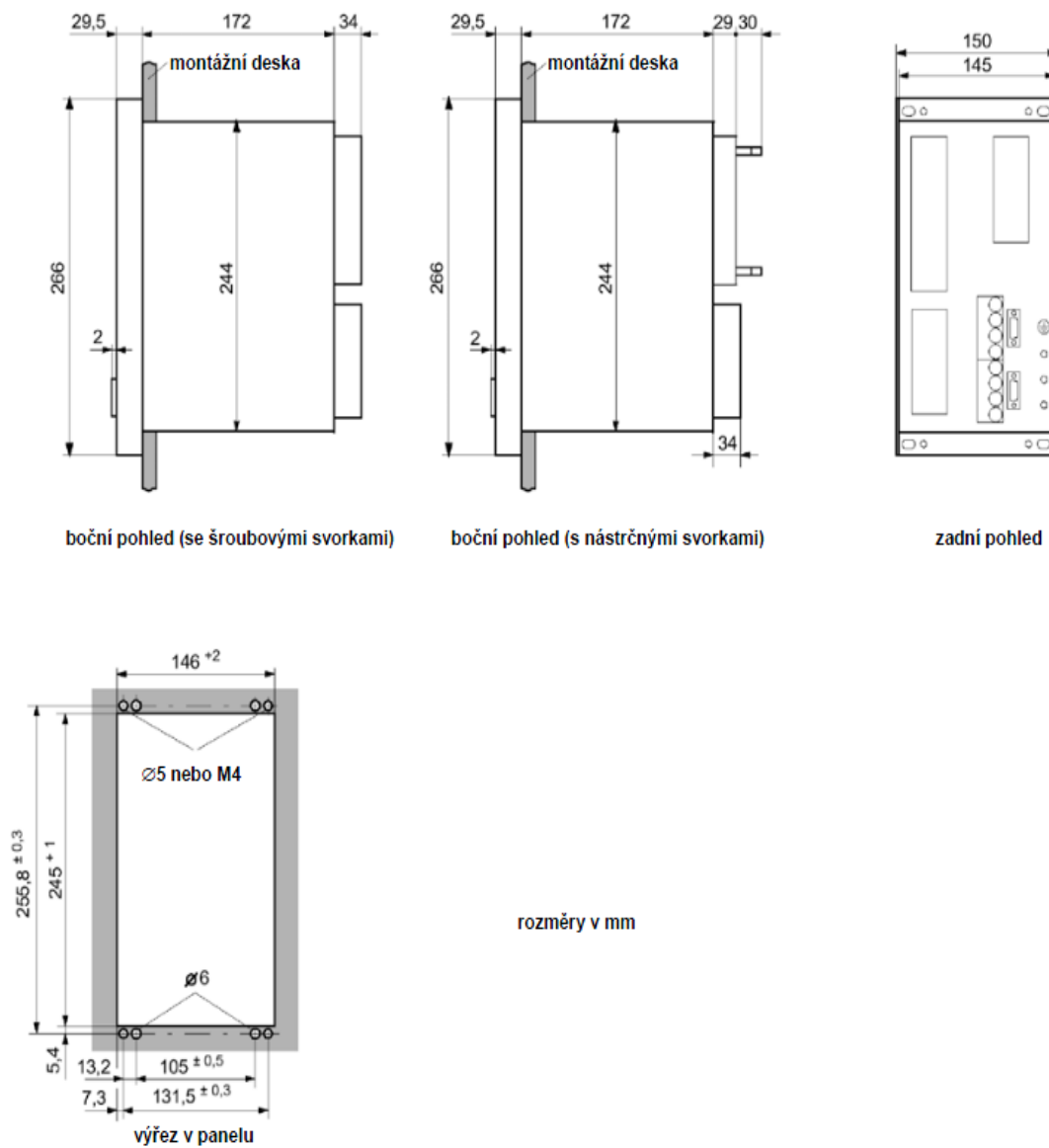


Hardwarová struktura digitální rozdílové ochrany 7UT612 – příklad dvojvintuového transformátoru se stranami S1 a S2

PŘÍLOHA B – ROZMĚRY OCHRANY

4.15 Rozměry

Provedení do skříně a do panelu



Obr. 4-13 Rozměry 7UT612 v provedení do skříně a do panelu

PŘÍLOHA C – VŠEOBECNÉ ÚDAJE OCHRANY, POŽADAVKY NA PROUDOVÉ TRANSFORMÁTORY

4.1 Všeobecné údaje přístroje

4.1.1 Analogové vstupy a výstupy

	jmenovitá frekvence f_N	50 Hz / 60 Hz / $16^{2/3}$ Hz (přepínatelné)
Proudové vstupy	jmenovitý proud I_N	1A nebo 5A nebo 0,1 A (přepínatelné)
	spotřeba vstupů I_1 až I_7	
	– $I_N = 1$ A	cca 0,02 VA
	– $I_N = 5$ A	cca 0,2 VA
	– $I_N = 0,1$ A	cca 1 mVA
	– citlivý vstup I_8 při 1 A	cca 0,05 VA
	zatížitelnost proudových smyček I_1 až I_7	
	– tepelná (efektivní)	100 · I_N po dobu 1 s 30 · I_N po dobu 10 s 4 · I_N trvale
	– dynamická (špičková hodnota)	250 · I_N (polovina periody)
	zatížitelnost vstupu I_8	
	– tepelná (efektivní)	300 A po dobu 1 s 100 A po dobu 10 s 15 A trvale
	– dynamická (špičková hodnota)	750 A (polovina periody)
Požadavky na proudové transformátory	Činitel nadproudového čísla	$n' \geq 4 \cdot \frac{I_{kdmax}}{I_{Nprim}}$ pro $\tau \leq 100$ ms
	$n' = n \cdot \frac{P_N + P_I}{P + P_I}$	$n' \geq 5 \cdot \frac{I_{kdmax}}{I_{Nprim}}$ pro $\tau > 100$ ms
	Max. poměr primárních jmenovitých proudů proudových transformátorů k chráněnému objektu	$\frac{I_{Nprim PTP}}{I_{Nprim Obj}} \leq \begin{cases} 4 & \text{pro fázové proudy} \\ 9 & \text{pro zemní proud na I} \end{cases}$

PŘÍLOHA D – VÝTAH Z MANUÁLU 7UT612 – ROZDÍLOVÁ OCHRANA

2.2 Rozdílová ochrana

2.2 Rozdílová ochrana

Rozdílová ochrana představuje hlavní funkci přístroje. Pracuje na principu porovnávání proudů. 7UT612 je vhodná pro transformátory, generátory, motory, tlumivky, krátká vedení a (v rámci možných proudových vstupů) uzly (malé rozvodny s přípojnici). Také je vhodná jako bloková ochrana pro bloky generátor-transformátor.

7UT612 může být rovněž nasazena jako jednofázový přístroj. Pak může být připojeno až 7 konců chráněného objektu, např. přípojnice s až 7 vývody.

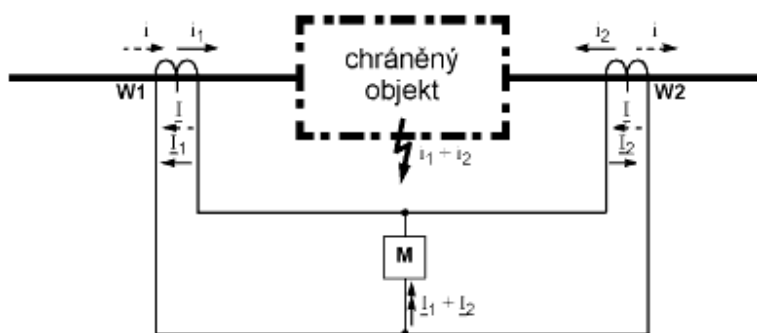
Chráněná oblast je selektivně ohraničena proudovými transformátory na svých koncích.

2.2.1 Popis funkce rozdílové ochrany

Zpracování měřených veličin je závislé na použití rozdílové ochrany. V tomto odstavci je toto zúženo obecně na funkci rozdílové ochrany, nezávisle na tom, jaký je druh chráněného objektu. Přitom je použito jednofázového znázornění. Pak následují charakteristiky jednotlivých chráněných objektů.

Základní princip pro dvě strany

Rozdílová ochrana pracuje na principu porovnávání proudů. Při tom se využívá toho, že chráněným objektem (obrázek 2-7) protéká v bezporuchovém stavu na obou koncích vždy tentýž proud i (čárkovaně). Tento teče na jedné straně do uvažovaného objektu a na druhé straně opět vytéká. Rozdíl proudů je prokázanou známkou poruchy uvnitř chráněného objektu. Sekundární vinutí proudových transformátorů $W1$ a $W2$ na koncích chráněného objektu by mohly být při stejném převodu zapojeny tak, aby se uzavíral proudový obvod se sekundárním proudem I , a měřicím členem M v příčné větvi neprotékal v bezporuchovém stavu žádný proud.



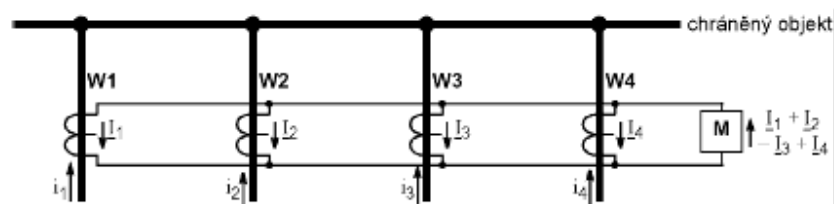
Obr. 2-7 Základní princip rozdílové ochrany se dvěma konci (jednofázové znázornění)

2 Funkce

Při poruše v oblasti, ohraničené proudovými transformátory, dostane měřící člen M součet proudů $i_1 + i_2$, který je úměrný proudům $I_1 + I_2$, které protékají oběma stranami při poruše. Jednoduché uspořádání dle obrázku 2-7 tedy vede při poruše v chráněné oblasti, kterou protéká poruchový proud, dostatečný pro náběh měřícího členu M, spolehlivě k náběhu ochrany.

Základní princip pro více stran

U chráněných objektů se třemi nebo více konci nebo u přípojnice je princip rozdílové ochrany rozšířen, takže v bezporuchovém provozu musí být součet všech proudů, protékajících chráněnou oblastí, roven nule, při zkratu je ale součet protékajících proudů roven proudu poruchovému (viz obrázek 2-8 jako příklad pro 4 konce).



Obr. 2-8 Základní princip rozdílové ochrany pro 4 konce (jednofázové znázornění)

Proudová stabilizace

Pokud protékají při vnější poruše chráněnou oblastí příliš velké proudy, vyskytuje se při rozdílných převodových poměrech v oblasti sycení proudových transformátorů W1 a W2 (obrázek 2-7) v měřícím členu M odpovídající rozdílový proud, který by mohl způsobit vypnutí. Chybnému působení ochrany je zabráněno stabilizací.

Pro stabilizaci se u rozdílové ochrany pro chráněný objekt se dvěma konci používá buď rozdíl proudů $|I_1 - I_2|$ nebo součet absolutních hodnot $|I_1| + |I_2|$. V oblasti stabilizační charakteristiky, která je nejzajímavější, jsou obě metody shodné. U chráněných objektů s více konci, např. vícevinutových transformátorů nebo přípojnic, je možná pouze součtová metoda. Kvůli tomuto je u 7UT612 použita tato metoda. Je tedy definován:

vypínací nebo rozdílový proud

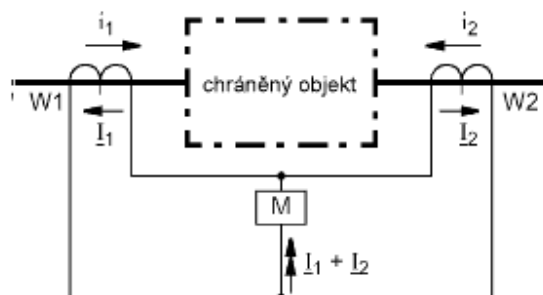
$$I_{dif} = |I_1 + I_2|$$

stabilizační proud

$$I_{stab} = |I_1| + |I_2|$$

I_{dif} je vypočítáván ze základní harmonické proudů a působí ve vypínacím smyslu, I_{stab} působí proti němu.

Pro objasnění činnosti nechť jsou uvažovány tři důležité provozní stavy s ideálními a přizpůsobenými měřenými veličinami (obrázek 2-9):



Obr. 2-9 Definice proudů

- a) Průchozí proud při bezporuchovém provozu nebo při poruše mimo chráněnou oblast:

I_2 otáčí svůj směr, tzn. mění znaménko, tj. $I_2 = -I_1$;
kromě toho je $|I_2| = |I_1|$

$$I_{diff} = |I_1 + I_2| = |I_1 - I_1| = 0$$

$$I_{stab} = |I_1| + |I_2| = |I_1| + |I_1| = 2 \cdot |I_1|$$

Chybí vypínací veličina ($I_{diff} = 0$), stabilizace (I_{stab}) odpovídá dvojnásobku protékajícího proudu.

- b) Vnitřní porucha, napájení z obou stran např. stejně velkými proudy;

Pak platí $I_2 = I_1$; kromě toho je $|I_2| = |I_1|$

$$I_{diff} = |I_1 + I_2| = |I_1 + I_1| = 2 \cdot |I_1|$$

$$I_{stab} = |I_1| + |I_2| = |I_1| + |I_1| = 2 \cdot |I_1|$$

Vypínací veličina (I_{diff}) a stabilizační veličina (I_{stab}) jsou stejně velké a odpovídají celkovému zkratovému proudu.

- c) Vnitřní porucha, napájení jen z jedné strany:

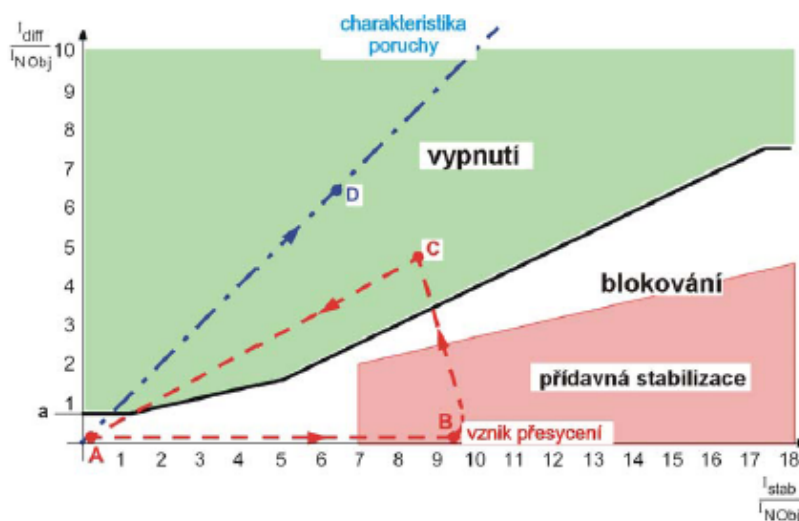
Pak platí $I_2 = 0$

$$I_{diff} = |I_1 + I_2| = |I_1 + 0| = |I_1|$$

$$I_{stab} = |I_1| + |I_2| = |I_1| + 0 = |I_1|$$

Vypínací veličina (I_{diff}) a stabilizační veličina (I_{stab}) jsou stejně velké a odpovídají zkratovému proudu jedné strany.

Při vnitřní poruše je tedy $I_{diff} = I_{stab}$. Tímto je charakteristika pro vnitřní poruchy definována ve vypínacím diagramu přímkou se sklonem 45° (obrázek 2-10, čárkovaná čára).



Obr. 2-10 Vypínací charakteristika rozdílové ochrany s charakteristikou poruchy

Přídavná stabilizace při poruchách mimo chráněnou oblast

Sycení proudových transformátorů při velkých zkratových proudech a/nebo dlouhých časových konstantách sítě nehraje při vnitřních zkratech (v chráněné oblasti) prakticky žádnou roli, protože zkraslení měřených hodnot se projeví ve stejné míře v rozdílovém i stabilizačním proudu. Charakteristika poruchy na obrázku 2-10 platí principiálně i zde. Samozřejmě musí sekundární proud přesyceného transformátoru proudu překročit alespoň náběhovou mez (a na obrázku 2-10).

Při vnější poruše, která způsobí velký protékající zkratový proud, může přesycení proudových transformátorů, pokud se na měřících místech projevuje velmi rozdílně, představovat značný rozdílový proud, který, pokud se pracovní bod I_{diff}/I_{stab} nachází ve vypínací oblasti charakteristiky (obrázek 2-10), by mohl vést bez dalších opatření k falešnému vypnutí.

7UT612 disponuje indikátorem přesycení, který takové stavy rozpozná a provede příslušná opatření pro stabilizaci. Indikátor přesycení vyhodnotí dynamický jev rozdílového a stabilizačního proudu.

Čárkovaná čára na obrázku 2-10 ukazuje průběh proudu při vnějších poruchách s přesyceným proudovým transformátorem na jedné straně.

Bezprostředně po vzniku poruchy (A) rostou zkratové proudy nejprve silně a způsobí dostatečně velký stabilizační proud (2 x protékající proud). Nyní dojde k přesycení jen na jedné straně (B), toto vyvolá rozdílový proud a oslabí proud stabilizační, takže se pracovní bod může přesunout až do vypínací oblasti (C).

Při vnitřních zkratech stoupá naproti tomu pracovní bod ihned podél charakteristiky poruchy (D), protože stabilizační proud je zhruba stejně velký jako proud rozdílový.

Přesycení proudových transformátorů při vnějších poruchách je tedy rozpoznáno tím, že nejprve protéká velký okamžitý stabilizační proud. Indikátor přesycení provede své rozhodnutí v první čtvrtperiodě. Je-li rozpoznána vnější porucha, je rozdílová ochrana po nastavený čas blokována. Blokování je zrušeno, jakmile je rozpoznáno, že se pracovní bod I_{diff}/I_{stab} nachází staticky (tzn. alespoň jednu periodu) uvnitř vypínací oblasti poblíž charakteristiky poruchy. Tímto jsou rozeznány ná-

sledné poruchy uvnitř chráněné oblasti také po předchozím vnějším zkratu s přesycením proudových transformátorů.

Stabilizace harmonickými

Obzvláště u transformátorů a příčných tlumivek mohou při zapnutí vzniknout krátkodobě velké magnetizační proudy (Rush), které tečou do chráněné oblasti, ale nikoliv již ven. Působí tak jako jednostranně tekoucí poruchový proud. Také při paralelním spínání transformátorů nebo při přeregulaci zvýšeným napětím nebo nízkou frekvencí vznikají nežádoucí rozdílové proudy.

Zapínací náraz může dosáhnout několikanásobku jmenovitého proudu a vyznačuje se relativně vysokým podílem druhé harmonické (dvojnásobek jmenovité frekvence), zatímco ve zkratovém proudu úplně chybí. Překročí-li obsah druhé harmonické v rozdílovém proudu nastavenou mez, je zabráněno vypnutí.

Kromě druhé harmonické může být v 7UT612 použita pro stabilizaci další harmonická (nastavitelná). Na výběr jsou třetí a pátá harmonická.

Statická přeregulace se vyznačuje lichými harmonickými. Zde se pro stabilizaci hodí třetí nebo pátá harmonická. Protože u transformátorů je často třetí harmonická eliminována (např. ve vinutí do trojúhelníku), používá se většinou pátá.

Také u usměrňovacích transformátorů mají liché harmonické vliv, který u vnitřních zkratů neexistuje.

U rozdílových proudů je proto měřen podíl vyšších harmonických. Pro frekvenční analýzu se používají frekvenční filtry, které provádějí Fourierovu analýzu rozdílových proudů. Jakmile jsou podíly vyšších harmonických větší než nastavené meze, provede se při vyhodnocování příslušné fáze stabilizace. Algoritmy filtrů jsou optimalizovány vzhledem k oscilačním jevům tak, aby se ušetřila dodatečná opatření pro stabilizaci při dynamických dějích.

Protože stabilizace při zapnutí pracuje samostatně pro každou fázi, je ochrana optimálně účinná, také pokud je transformátor zapnut do jednofázové poruchy, přičemž může v ostatních zdravých fázích téct zapínací proud. Je ale rovněž možné nastavit ochranu tak, aby překročení dovoleného podílu vyšší harmonické v proudu jen jedné fáze stabilizovalo nejen fázi se zapínacím proudem, ale aby byly zablokovány i zbývající fáze. Tato tzv. funkce „Crossblock“ může být omezena na určitou dobu.

Rychlé vypnutí při velkých zkratových proudech

Vnitřní poruchy v chráněné oblasti s velkými proudy mohou být vypínány ihned bez ohledu na stabilizační proudy, pokud je na základě velikosti proudů jisté, že se nemůže jednat o vnější poruchu. U chráněných objektů s velkými vlastními podélnými impedancemi (transformátory, generátory, podélné tlumivky) se dá nalézt hodnota proudu, která nemůže být nikdy překročena při vnějších poruchách.

U transformátoru to je např. (primární) hodnota $\frac{1}{U_{k\text{Trato}}} \cdot I_{N\text{Trato}}$.

Rozdílová ochrana 7UT612 disponuje nestabilizovaným rychlým vypínacím stupněm. Tento působí tehdy, pokud se díky přesycení proudových transformátorů stejnosměrnou složkou vyskytuje ve zkratovém proudu stejnosměrná složka, která by mohla být stabilizací při zapínání interpretována jako druhá harmonická.

2 Funkce

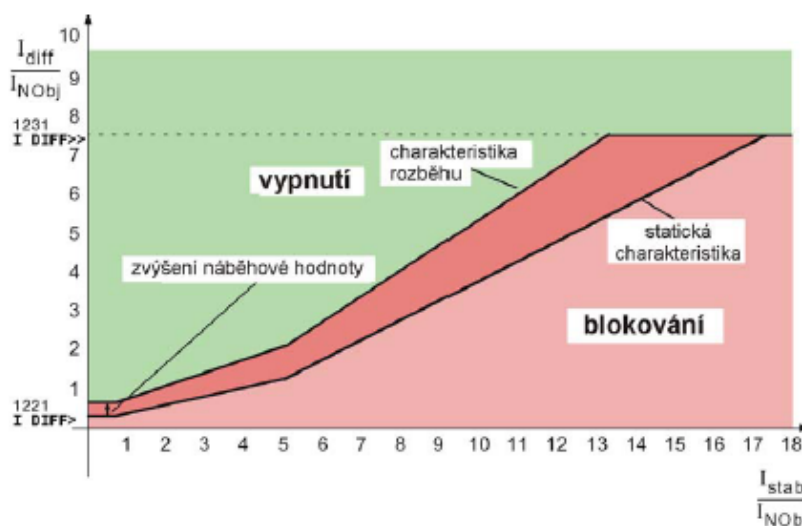
Rychlé vypnutí pracuje jak se základní harmonickou rozdílového proudu, tak s okamžitými hodnotami. Zpracování okamžitých hodnot garantuje rychlé vypnutí i tehdy, pokud je základní harmonická utlumena přesycením proudových transformátorů. Kvůli možnému posunu proudů při vzniku zkratu pracuje zpracování okamžitých hodnot od dvojnásobku nastavené hodnoty.

Zvýšení náběhových hodnot při rozběhu

Zvýšení náběhových hodnot je zvlášť vhodné pro motory. Na rozdíl od transformátorů je u motorů zapínací proud proudem protékajícím. Rozdílové proudy mohou ale vzniknout tím, že proudové transformátory mají před zapnutím rozdílné zbytkové magnetizace a tím rozdílné pracovní body svých hysterezí. Tyto rozdílové proudy jsou sice malé, mohou ale při citlivém nastavení působit chybně.

Jako dodatečná záruka proti nadbytečným funkcím při zapnutí chráněného objektu, kterým neprotékal žádný proud, může být při rozběhu použito zvýšení náběhových hodnot. Pokud stabilizační proud jedné fáze překročí nastavenou hodnotu **ANLAUF-STAB**, je aktivováno zvýšení náběhových hodnot. Je-li stabilizační proud v normálním provozu dvojnásobkem protékajícího proudu, jeho překročení je pak kritériem pro vypnutí chráněného objektu. Náběhová hodnota **I-DIFF>** i ostatní části stupně I_{diff} se zvýší o nastavený činitel (viz obrázek 2-11).

Obnovení stabilizačního proudu je znakem rozběhu. Po nastaveném čase **Max.ANLAUFZEIT** se charakteristika vrátí zpět.



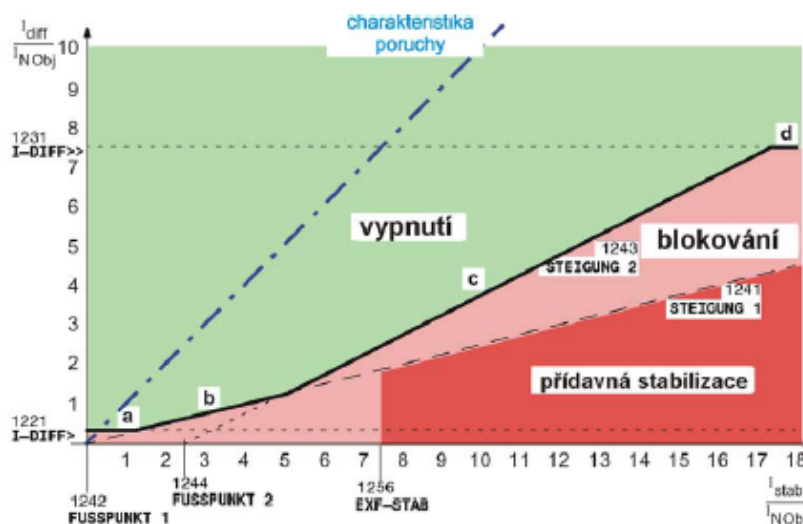
Obr. 2-11 Zvýšení náběhových hodnot při rozběhu

Charakteristika

Obrázek 2-12 ukazuje úplnou vypínací charakteristiku 7UT612. Část a představuje mez citlivosti (hodnota **I-DIFF>**) a respektuje konstantní proudové chyby jako např. magnetizační proudy.

Část b zohledňuje proudově proporcionální chyby, které se vyskytují kvůli chybám převodu proudových transformátorů a vstupních transformátorů přístroje, nebo např. odchýlkám v přizpůsobení a přepínání stupňů u transformátorů s regulací napětí.

V oblasti velkých proudů, které mohou vyvolat přesycení proudových transformátorů, se stará část c o silnější stabilizaci.



Obr. 2-12 Vypínací charakteristika rozdílové ochrany

Při rozdílových proudech nad částí d dojde k vypnutí nezávisle na stabilizačním proudu a stabilizaci harmonickými (hodnota $I\text{-DIFF}>>$). Toto je tedy oblast „rychlého vypnutí při velkých zkratových proudech“.

Oblast přídavné stabilizace je určena indikátorem přesycení (viz nahoře pod nadpisem "Přídavná stabilizace při poruchách mimo chráněnou oblast").

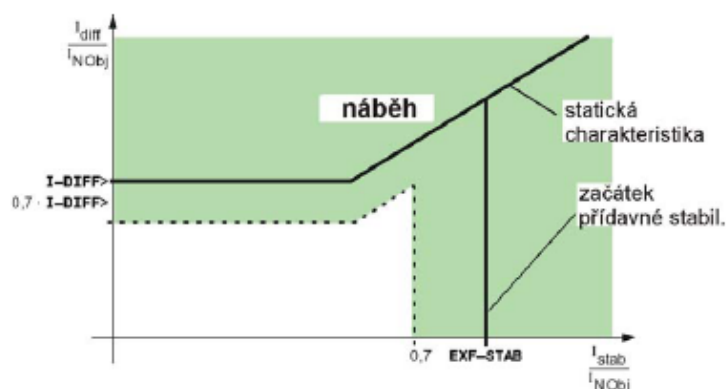
Veličiny I_{diff} a I_{stab} jsou rozdílovou ochranou uspořádány ve vypínací charakteristice dle obrázku 2-12. Pokud mají tyto veličiny pracovní bod uvnitř vypínací oblasti, dojde k vypnutí.

Náběh, návrat

Obvykle rozdílová ochrana nepotřebuje žádný „náběh“, protože detekce poruchy a podmínka vypnutí jsou identické. Avšak jako všechny přístroje SIPROTEC®, disponuje rovněž 7UT612 náběhem, který představuje pro řadu následných aktivit okamžik startu. Náběh určuje začátek poruchy. Toto je nutné, aby byly např. ukládány poruchové protokoly a záznamy poruch. Ale také vnitřní funkce potřebují co možná nejpřesnější okamžik začátku poruchy, také pro poruchy mimo chráněnou oblast, jako např. indikátor přesycení, který musí svou úlohu splnit právě při protékajících zkratových proudech.

Náběh je detekován, pokud základní harmonická rozdílových proudů dosáhne 70 % náběhové hodnoty nebo stabilizační proud dosáhne více než 70 % v oblasti přídavné stabilizace (obrázek 2-13). Signál o náběhu je rovněž generován při náběhu rychlého vypínacího stupně pro velké zkratové proudy.

2 Funkce



Obr. 2-13 Náběh rozdílové ochrany

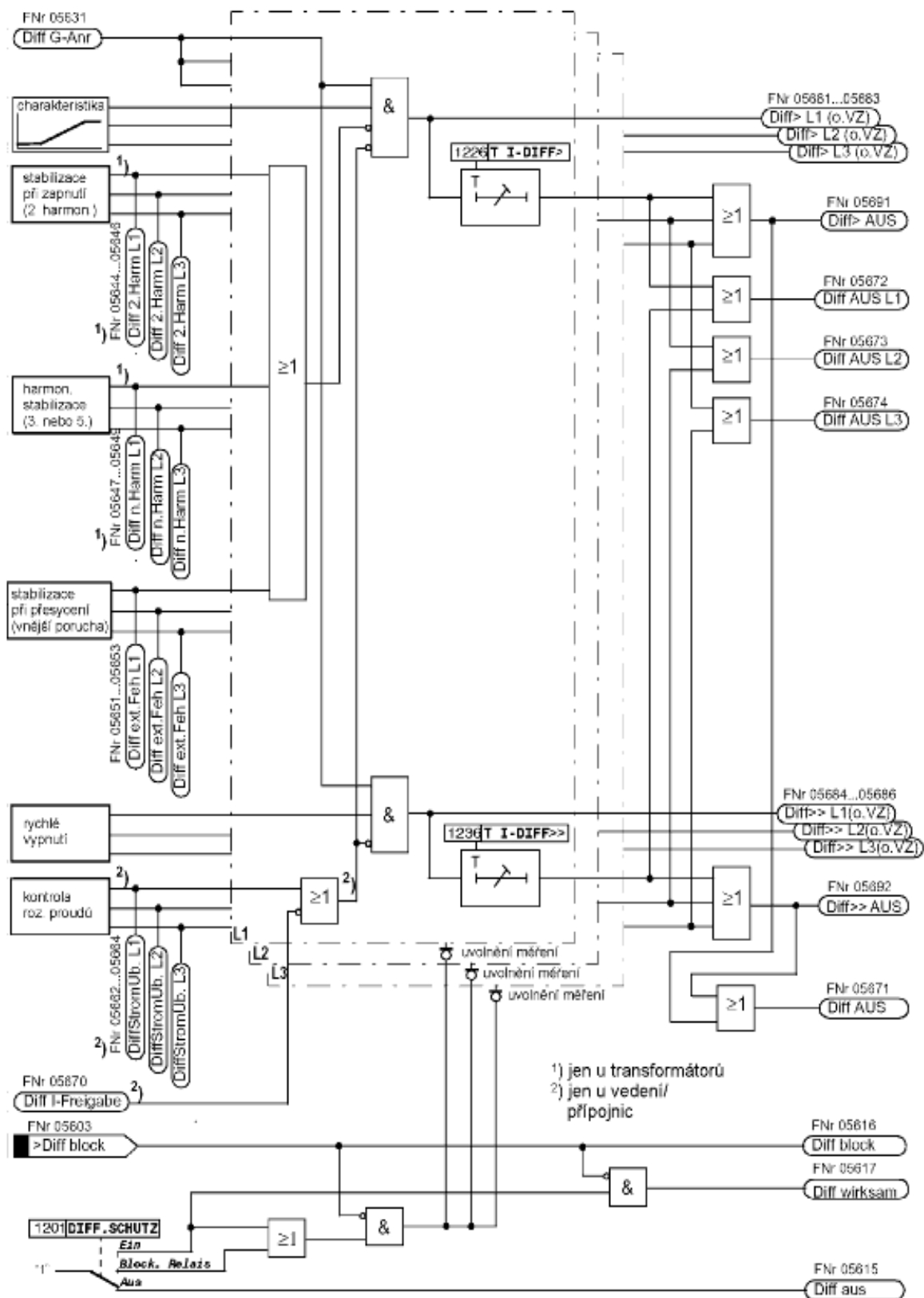
Pokud je aktivována stabilizace vyššími harmonickými, je provedena nejdříve analýza vyšších harmonických (asi 1 perioda), aby byly přezkoušeny podmínky pro stabilizaci. Jinak vypínací povel následuje, pokud jsou splněny podmínky pro vypnutí (vypínací oblast na obrázku 2-12).

V mimořádných případech může být vypínací povel zpožděn.

Obrázek 2-14 ukazuje zjednodušené schéma vypínací logiky.

K návratu dojde, pokud alespoň po dobu 2 period již neexistuje v rozdílových veličinách žádný příznak náběhu, tzn. rozdílový proud klesne na <math><70\%</math> nastavené hodnoty a také ostatní podmínky náběhu již nejsou splněny.

Pokud nebyl vyslán vypínací povel, je porucha návratem ukončena. Pokud však byl generován vypínací povel, je tento přidržen po dobu minimální délky povelu, která byla pro všechny ochranné funkce nastavena ve všeobecných údajích o přístroji (viz také odstavec 2.1.2 pod nadpisem „Délka povelu“, strana 27).



Obr. 2-14 Vypínací logika rozdílové ochrany