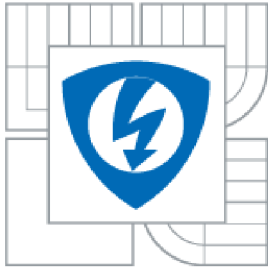




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

TESTOVÁNÍ OCHRANY TRANSFORMÁTORU

TESTING OF TRANSFORMER PROTECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

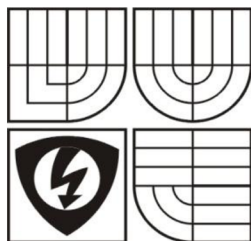
IVAN KULAČ

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAVA ORSÁGOVÁ,
Ph.D.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Ivan Kulač

Ročník: 3

ID: 115212

Akademický rok: 2010/11

NÁZEV TÉMATU:

Testování ochrany transformátoru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Obecná teorie chránění transformátoru.
2. Rozdílová ochrana – princip funkce, stabilizace, vypínací charakteristika.
3. Návrh vhodné metodiky pro testování jednotlivých funkcí ochrany.
4. Praktická aplikace metody a výsledky měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

dle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 26.05.2011

Vedoucí projektu: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Bibliografická citácia práce:

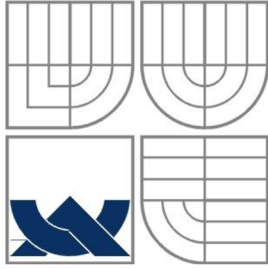
KULAČ, I. *Testování ochrany transformátoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 52 s. Vedúci bakalárskej práce doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Ďakujem vedúcej svojej bakalárskej práce doc. Ing. Jaroslave Orságovej, Ph.D. za pedagogickú a odbornú pomoc a praktické rady pri spracovávaní mojej bakalárskej práce.

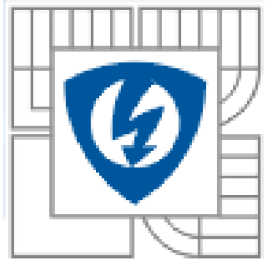
.....

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu vypracoval samostatne a použil som iba podklady (literatúru, projekty, SW atd.) uvedené v priloženom zozname.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalárska práca

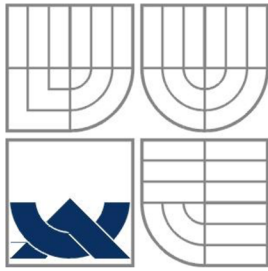
Testovanie ochrany transformátora

Ivan Kulač

vedúci: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2011

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Electrical Engineering and Communication

Department of Electrical Power Engineering

Bachelor's Thesis

Testing of transformer protection

by

Ivan Kulač

Supervisor: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Brno University of Technology, 2011

Brno

ABSTRAKT

Hlavnou témou bakalárskej práce bola ochrana transformátora, konkrétne rozdielová ochrana transformátora. Princíp jej funkcie, stabilizácia a vypínacia charakteristika. Bola navrhnutá metodika testovania modulu SPCD 3D53 diferenciálnej stabilizovanej ochrany SPAD 346C od firmy ABB. Nastavenie vypínacej charakteristiky na ochrane bolo uskutočňované pre parametre reálnych výkonových transformátorov. K samotnému meraniu bolo použité testovacie zariadenie OMICRON CMC 256 plus, ktoré bolo rovnako ako testovaná ochrana spojené s počítačom. Všetko nastavovanie a testovanie bolo uskutočňované pomocou počítača s príslušným softvérom. Meranie bolo uskutočňované pre 3 možné prípady, kedy rozdielový prúd je v jednej, v dvoch alebo v troch fázach. Výsledky meraní sú uvedené v tabuľkách a grafoch.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: diferenciálna ochrana, vypínacia charakteristika, blokovací prúd, rozdielový prúd, ochrana transformátora

ABSTRACT

The main theme of my Bachelor thesis was protection of the transformer, measured case was orient to differential protection of the transformer, functions, stabilization and release characteristic. The proposed method of testing module SPCD3D53 differential protection SPAD 346C which was made by ABB. Setting of release characteristics on the protection were made for real power transformers. Testing device OMICRON CMC 256 plus was used to measurement, which was same as protection connected to personal computer. All the PC's settings operations were realized by recommended software. The measurements were made for three cases, when differential current was in one, two or three phases. Results of measurement are mentioned in tables and graph.

KEYWORDS: differential protection, release charakteristic, blocking current, differential current, transformer protection

OBSAH

Zoznam obrázkov	10
Zoznam tabuliek	11
Zoznam symbolov a skratiek.....	12
1 Úvod.....	13
1.1 Transformátor všeobecne.....	13
1.1.1 Princíp činnosti.....	13
1.1.2 Ideálny transformátor	14
1.1.3 Skutočný transformátor	14
1.1.4 Trojfázový transformátor	15
1.1.5 Trojvinuťový transformátor.....	17
2 Ochrana transformátorov.....	18
2.1 Používané ochrany na výkonových transformátoroch.....	19
3 Plynová ochrana	21
4 Nádobová (kostrová) ochrana	22
5 Rozdielová ochrana	23
5.1 Pričná rozdielová ochrana.....	23
5.2 Pozdĺžna rozdielová ochrana	24
5.3 Kompenzácia rozdielových meracích členov	26
5.3.1 Princípy kompenzácie	26
6 Rozdielová ochrana transformátora.....	28
6.1 Blokovanie pri zapínanom ráze	29
7 Záložné ochrany transformátora.....	30
8 Diferenciálna ochrana SPAD 346 C.....	31
8.1 Modul SPCD 3D53 - modul trojfázovej stabilizovanej diferenciálnej ochrany.....	31
8.2 Modul SPCD 2D55 – modul ochrany pre zemné poruchy	31
8.3 Modul SPCJ 4D28 - kombinovaný modul ochrany pre zemné poruchy a nadprúdovej ochrany	32
8.4 Stabilizovaný prúdový diferenciálny stupeň $3 \Delta I >$	32
8.4.1 Prispôsobenie vektorovej skupine	34
8.4.2 Chránenie trojvinuťových transformátorov.....	36
9 Testovacie zariadenie Omicron CMC 256 plus	37
9.1 Softvér OMICRON Test Universe	38
10 Postup nastavenia testovania modulu 3D53.....	39

10.1	Zapojenie testovanej úlohy	39
10.2	Nastavovanie ochrany SPAD 346C	39
10.3	Nastavenie testovacieho zariadenia OMICRON CMC 256plus	42
11	Meranie vypínacej charakteristiky SPAD 346C	46
11.1	Základné parametre testovania.....	46
11.2	Namerané hodnoty	47
11.2.1	Výpočet prúdu I_{1nast} a I_{2nast}	48
11.3	Vypínacia charakteristika.....	48
11.4	Zhodnotenie merania.....	49
12	Záver.....	51
	Použitá literatúra.....	52
	Príloha A - Namerané hodnoty	53
	Príloha B – Vypínacie charakteristiky.....	57

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1-1 Náhradná schéma transformátora.....</i>	15
<i>Obr. 1-2 Príklad zapojenia Yd1 s hodinovým uhlom</i>	16
<i>Obr. 1-3 Náhradná schéma trojvinutového transformátora</i>	17
<i>Obr. 3-1 Princíp plynového relé</i>	21
<i>Obr. 4-1 Princíp nádobovej ochrany.....</i>	22
<i>Obr. 5-1 Obecná charakteristika rozdielovej ochrany.....</i>	23
<i>Obr. 5-2 Princíp zapojenie priečnej rozdielovej ochrany</i>	24
<i>Obr. 5-3 Princíp zapojenia pozdĺžnej rozdielovej ochrany.....</i>	24
<i>Obr. 5-4 Princíp zapojenia pozdĺžnej málo impedančnej rozdielovej ochrany</i>	25
<i>Obr. 5-5 Princíp zapojenia pozdĺžnej rozdielovej ochrany s napäťovým porovnaním</i>	25
<i>Obr. 5-6 Kompenzácia s rozdielovým členom, ktorý má dve vinutia</i>	26
<i>Obr. 5-7 Spôsob kompenzácie pomocou rozdielového člena s usmerňovačmi</i>	27
<i>Obr. 6-1 Princíp fázového vyrovnávania prúdu pre zapojenie Yd.....</i>	28
<i>Obr. 8-1 Vypínacia charakteristika ochrany SPAD 346C</i>	33
<i>Obr. 8-2 Medzné vypínacie charakteristiky</i>	34
<i>Obr. 8-3 Typové zapojenie prúdových transformátorov - typ I.....</i>	34
<i>Obr. 8-4 Typové zapojenie prúdových transformátorov - typ II</i>	35
<i>Obr. 8-5 Prispôsobenie fázového posunu pre zapojenie YNd1</i>	35
<i>Obr. 8-6 Zapojenie ochrany na dvojvinutový transformátor s dvoma výstupmi</i>	36
<i>Obr. 8-7 Zapojenie ochrany na trojvinutový transformátor</i>	36
<i>Obr. 9-1 Popis testovacieho zariadenia CMC 256 plus.....</i>	37
<i>Obr. 10-1 Schéma zapojenia testovanej úlohy</i>	39
<i>Obr.10-2 Úvodné okno programu CAP 505</i>	40
<i>Obr.10-3 Okno pre nastavovanie ochrany SPAD 346C v programe CAP 505</i>	40
<i>Obr.10-4 Základné parametre ochrany SPAD 346C nastavené v programe CAP 505</i>	41
<i>Obr.10-5 Nastavenie prispôsobenia vektorovej skupiny v programe CAP 505.....</i>	42
<i>Obr.10-6 Základné okno programu OMICRON Test Universe</i>	42
<i>Obr.10-7 Základné okno testovacieho modulu QuickCMC</i>	43
<i>Obr.10-8 Hardvérová konfigurácia výstupu</i>	43
<i>Obr.10-9 Priradenie analógových výstupov</i>	44
<i>Obr.10-10 Priradenie binárnych a analógových vstupov</i>	44
<i>Obr.10-11 Okno pre nastavenie požadovaných výstupov a pre samotné spúšťanie testu.....</i>	45
<i>Obr.11-1 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 1 - zmena prúdov v troch fázach</i>	48
<i>Obr.11-2 Hodnoty diferenciálneho a stabilizačného prúdu ochrany.....</i>	49
<i>Obr.11-3 Skúška typu Trend.....</i>	50
<i>Obr.B-1 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 1 - zmena prúdov v dvoch fázach.....</i>	57
<i>Obr.B-2 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 1 - zmena prúdu v jednej fáze</i>	57
<i>Obr.B-3 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 2 - zmena prúdov v troch fázach.....</i>	58
<i>Obr.B-4 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 2 - zmena prúdov v dvoch fázach.....</i>	58
<i>Obr.B-5 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 2 - zmena prúdu v jednej fáze</i>	59
<i>Obr.B-6 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 3 - zmena prúdov v troch fázach.....</i>	59
<i>Obr.B-7 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 3 - zmena prúdov v dvoch fázach.....</i>	60
<i>Obr.B-8 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 3 - zmena prúdu v jednej fáze</i>	60

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 2-1 Poruchy transformátorov	18
Tab. 2-2 Vybavenie transformátorov ochranami	19
Tab. 8-1 Nastavenie prepínačov SGF1/3...8	35
Tab. 11-1 Parametre skutočných výkonových transformátorov	46
Tab. 11-2 Nastavenie vypínacích charakteristík	47
Tab. 11-3 Namerané hodnoty pre Transformátor 1 pri zmene prúdov v troch fázach.....	47
Tab. A-1 Namerané hodnoty pre Transformátor 1 pri zmene prúdov v dvoch fázach	53
Tab. A-2 Namerané hodnoty pre Transformátor 1 pri zmene prúdu v jednej fáze	53
Tab. A-3 Namerané hodnoty pre Transformátor 2 pri zmene prúdov v troch fázach.....	54
Tab. A-4 Namerané hodnoty pre Transformátor 2 pri zmene prúdov v dvoch fázach	54
Tab. A-5 Namerané hodnoty pre Transformátor 2 pri zmene prúdu v jednej fáze	55
Tab. A-6 Namerané hodnoty pre Transformátor 3 pri zmene prúdov v troch fázach.....	55
Tab. A-7 Namerané hodnoty pre Transformátor 3 pri zmene prúdov v dvoch fázach	55
Tab. A-8 Namerané hodnoty pre Transformátor 3 pri zmene prúdu v jednej fáze	56

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

A	- prierez jadra transformátora
B	- magnetická indukcia
f	- frekvencia
I_1	- primárny prúd
I_2	- sekundárny prúd
I_3	- terciálny prúd
I_∞	- trvalo dovolený rozdiel prúdu
I_k	- prúd zlomu charakteristiky
I_{2n}	- sekundárny prúd prúdových transformátorov
I_m	- amplitúda ustáleného magnetizačného prúdu
I_0	- nulová zložka prúdu
I_d	- diferenciálny prúd
I_b	- stabilizačný prúd
I_n	- menovitý prúd
I_{2tp}/I_n	- bod druhého zlomu charakteristiky
$i_{1,2}$	- okamžitý prúd
k	- činiteľ väzby
N_1	- počet závitov primárnej cievky
N_2	- počet závitov sekundárnej cievky
p	- transformačný pomer transformátora
P_2	- činný výkon
P/I_n	- stabilizovaný stupeň
R_M	- magnetický odpor jadra
S	- zdanlivý výkon
t	- reakčná doba ochrany
$u_{i1,2}$	- okamžitá hodnota indukovaného napätia
$U_{i1,2}$	- efektívna hodnota indukovaného napätia
U_1	- napätie primárneho vinutia
U_2	- napätie sekundárneho vinutia
U_3	- napätie terciálneho vinutia
v_n	- vysoké napätie
v_{vn}	- veľmi vysoké napätie
$X_{1,2\sigma}$	- rozptylová reaktancia
Z	- záťaž
ΔP	- činné straty
ΔI	- rozdielový prúd
Φ	- magnetický tok
Φ_c	- cievkový magnetický tok
$\Phi_{\sigma 1,2}$	- rozptylový magnetický tok
Φ_h	- hlavný striedavý magnetický tok

1 ÚVOD

1.1 Transformátor všeobecne

Teória transformátora bola vytvorená podľa [9]. Transformátor je netočivý elektrický stroj, umožňujúci prenos elektrickej energie z jedného elektrického obvodu do druhého pomocou elektromagnetickej indukcie. Striedavý prúd v prvom (primárnom) obvode vytvára premenlivé magnetické pole, ktoré následne indukuje striedavý prúd v druhom (sekundárnom) obvode.

Transformátor je možné použiť na zmenu veľkosti striedavého elektrického napätia nahor alebo nadol bez zmeny frekvencie. Okrem tejto funkcie zabezpečuje transformátor aj galvanické oddelenie dvoch elektrických obvodov, čo sa využíva pri konštrukcii elektronických obvodov, alebo pre bezpečnosť pred zásahom elektrickým prúdom.

Vinutie transformátora sa zahrieva prechodom elektrického prúdu (pasívny odpor), vírivými magnetickými prúdmi sa zahrieva aj jadro transformátora. Výkonné transformátory sa preto musia chladiť. Chladenie je priame, kedy chladiace médium cirkuluje okolo cievky transformátora, alebo nepriame, keď je cievka od média oddelená. Obeh chladiaceho média môže byť prirodzený, alebo nútený.

1.1.1 Princíp činnosti

Transformátor pracuje na princípe elektromagnetickej indukcie. Elektrická energia privádzaná do primárneho vinutia transformátora sa prenáša magnetickým obvodom do sekundárneho vinutia. Tento dej je popísaný Maxwell-Faradayovým zákonom o indukovanom napätí.

$$u = \frac{d\Phi_c}{dt} = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.1)$$

N_2 [-] – počet závitov cievky

Φ [Wb] – magnetický tok príslušného magnetického pola $\Phi = B \cdot A$

Φ_c [Wb] – cievkový magnetický tok

B [T] – magnetická indukcia

A [m²] – prierez jadra transformátora

Napätie indukované vo vodiči (cievke s počtom závitov N_2) je rovné časovej zmene cievkového magnetického toku Φ_c , ktorý pretína dotyčný vodič. Cievka má N_2 závitov, každým závitom prechádza magnetický tok Φ , jednotlivé závity je možné považovať za vodiče spojené do série, takže napätia indukované v jednotlivých závitoch sa sčítajú. Φ_c vyjadruje celkový účinok magnetického pola na celú cievku o N_2 závitoch

Ak pripojíme na primárne vinutie striedavé sínusové napätie o okamžitej hodnote u_1 , začne týmto vinutím prechádzať prúd i_1 . Ten vytvorí magnetický tok Φ_1 a na základe indukčného zákona vznikne v sekundárnom vinutí napätie u_{12} . Ak na výstupnú cievku transformátora pripojíme záťaž, začne sekundárnou stranou prechádzať prúd o okamžitej hodnote i_2 . Na základe Lenzovho princípu je magnetický tok Φ_2 vytvorený prúdom i_2 reakčný a teda pôsobí proti zmyslu magnetického toku Φ_1 .

1.1.2 Ideálny transformátor

K ľahšej analýze elektrických strojov používame obvodový model, ktorý pozostáva zo zdrojov a pasívnych prvkov R,L,C zapojených tak aby sa obvodový model choval vzhľadom vstupným a výstupným svorkám ako skutočný elektrický stroj.

Transformátor považujeme za ideálny ak má tieto vlastnosti:

- 1) nulové vnútorné straty transformátora (odpory vinutí a straty magnetického obvodu = 0)
- 2) nulový rozptyl, tzn. činiteľ väzby $k = 1$
- 3) nulový magnetický odpor jadra ($R_M = 0$), tzn. celý magnetický tok prechádza všetkými závitmi sekundárneho a primárneho vinutia

Ideálny transformátor je teda transformátor, ktorého odpor vinutia je nulový, magnetická vodivosť väzobného obvodu je nekonečne veľká, teda rozptylové toky sú nulové a každým závitom, ako vstupného, tak výstupného vinutia prechádza rovnaký magnetický tok. Za uvedených predpokladov platí pre okamžité hodnoty napätí indukovaných na svorkách:

$$u_{i1} = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.2)$$

$$u_{i2} = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.3)$$

Indukované napätie na primárnej cievke má rovnakú veľkosť ako napätie zdroja. Vylúčením členov $d\Phi/dt$ z oboch rovníc dostávame medzi primárnym a sekundárnym napätím vzťah:

$$\frac{u_{i2}}{u_{i1}} = \frac{N_2}{N_1} = p \quad (1.4)$$

Napätie sa transformuje v pomere počtu závitov cievok transformátora. Číslo p sa nazýva transformačný pomer transformátora. V prípade ak je $p < 1$, jedná sa o transformáciu smerom dolu. V prípade ak je $p > 1$, jedná sa o transformáciu smerom nahor.

V prípade harmonických priebehov napätia transformátora je možné odvodiť vzťahy pre efektívnu hodnotu indukovaného napätia v tvare:

$$U_{i1} = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \Phi_m \quad (1.5)$$

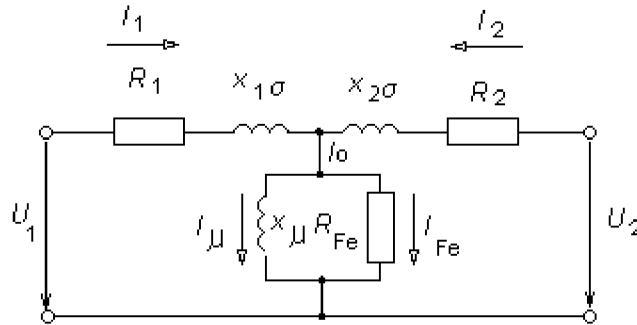
$$U_{i2} = 4,44 \cdot f \cdot N_2 \cdot \Phi_m \quad (1.6)$$

1.1.3 Skutočný transformátor

Ak pripojíme na primárne vinutie zdroj harmonického napätia U_1 začne primárnym vinutím pretekať harmonický prúd I_1 . Prúd I_1 vytvorí hlavný striedavý magnetický tok Φ_h , ktorý sa uzatvára jadrom a rozptylový tok $\Phi_{\sigma 1}$, ktorý sa uzatvára vzduchom. Obdobne to platí pre prúd I_2 a rozptylový tok $\Phi_{\sigma 2}$. Striedavou zmenou hlavného magnetického toku $d\Phi/dt$ sa indukuje do jedného závitú vinutia (primárneho i sekundárneho) indukované napätie u_{i1} a v jednotlivých vinutiach potom indukované napätia o veľkostiach úmerných počtu závitov N_1 , N_2 jednotlivých vinutí. Aby bol prenos energie z primárnej do sekundárnej cievky čo najlepší musí byť medzi cievkami tesnejšia väzba čo dosiahneme umiestnením cievok čo najbližšie k sebe.

Pripojením záťaže Z na výstupné svorky sekundárneho vinutia začne ním tiecť sekundárny prúd I_2 a do záťaže transformátor dodáva výkon P_2 .

Pretože skutočný transformátor vykazuje pri svojej činnosti činné straty ($\Delta P > 0$) vyjadrujeme v náhradnej schéme zobrazenej na Obr. 1-1 [9] straty v primárnom a sekundárnom vinutí pomocou nenulových rezistorov R_1 a R_2 , činné straty sú v magnetickom obvode vyjadrené fiktívnym rezistorom R_{Fe} . Rozptylové magnetické toky $\Phi_{\sigma 1}$ a $\Phi_{\sigma 2}$ uzatvárajúce sa vzduchom nahradzujeme rozptylovými reaktanciami $X_{1\sigma}$ a $X_{2\sigma}$.



Obr. 1-1 Náhradná schéma transformátora

1.1.4 Trojfázový transformátor

Trojfázové transformátory sa používajú na prenos veľkých výkonov v elektrických sieťach, ktoré transformujú napätie generátora (16 až 30 kV) na vysoké napätie (400 až 600 kV) vhodné na diaľkový prenos elektrickej energie a v mieste spotreby opäť transformujú na napätie vhodné pre spotrebiče (230/400 V). Trojfázový transformátor si môžeme predstaviť ako spojenie troch jednofázových transformátorov. Ich vinutia môžu byť spojené do trojuholníka, hviezdy alebo lomenej hviezdy.

Na strane vyššieho napätia sa značí písmenami D, Y, Z (trojuholník, hviezda, lomená hviezda) na strane nižšieho napätia d, y, z.

Trojuholník - koniec jednej cievky spojí so začiatkom druhej cievky a ich spoločný vývod sa vyvedie na svorky. Zmysel vinutia je pritom totožný na všetkých fázach transformátora.

Hviezda - jeden koniec cievok s rovnakým zmyslom vinutia zapojíme do spoločného uzla, ktorý môže byť vyvedený ako nulový bod n. Tým získame napätie fázové a sieťovo združené.

Lomená hviezda - vinutie každej fázy je rozdelené na dve polovice a obe polovice sú umiestnené na dvoch susedných jadrách. Aby sa indukované napätia správne geometricky sčítali, musí byť jedna polovica vinutia pripojená obrátene a konce spojené do uzla. Toto vinutie sa používa na strane nízkeho napätia u transformátorov v nerovnomerne zaťažených sieťach, napríklad svetelných. Zvýšené zaťaženie jednej fázy sa prenáša magnetickými tokmi dvoch jadier na dve fázy výstupného vinutia. Týmto krokom sa zmenší nerovnomernosť a úbytky napätí v preťaženej fáze.

V praxi sú najčastejšie používané spojenia:

Y/y (hviezda/hviezda) - pri malých výkonoch transformátora do 100 kVA a tam, kde je iba rovnomerné trojfázové zaťaženie (výhradne motorické). Dovoľené zaťaženie nulového vodiča max. 10%.

Y/z (hviezda/lom. hviezda) - pri transformátoroch do výkonu 315 kVA a kombinovanom motorickom aj svetelnom zaťažení. Zaťaženie nulového vodiča až 100%.

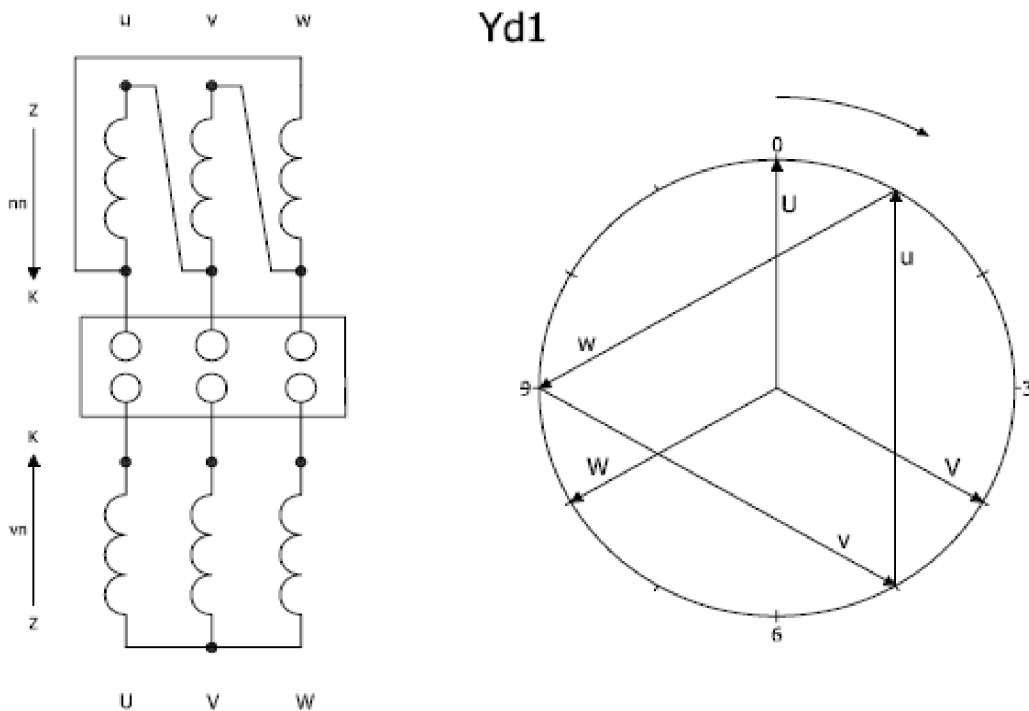
D/y (trojuholník/hviezda) - pri väčších jednotkách so svetelným jednofázovým zaťažením. Zaťaženie nulového vodiča do 100%.

Y/d (hviezda/trojuholník) - pri transformátoroch nachádzajúcich sa v elektrárňach a transformátorových staniciach, kde nulový vodič nie je na sekundárnej strane.

Kombináciou základných spojení a vnútorným spojovaním koncov jednotlivých fáz získavame rôzny fázový posun medzi sekundárnym indukovaným napätím a primárnym napätím tej istej fázy. Tento posun sa nazýva hodinový uhol. Hodinový uhol udáva oneskorenie vektora fázy menšieho napätia za rovnakým fázorom väčšieho napätia. Toto oneskorenie je 30° alebo jeho násobok a udáva sa v hodinách (jedna hodina zodpovedá uhlu 30° , plnému uhlu 360° zodpovedá 12 hodín). Vo vektorovom diagrame sa hodinový uhol medzi vyšším a nižším napätím meria v smere otáčania hodinových ručičiek. Príklad zapojenia transformátora s hodinovým uhlom 1 čiže 30° je na Obr.1-2 [9].

Podľa ČSN sa označujú svorky jednotlivých fáz v poradí U, V, W na strane vyššieho napätia, u, v, w, na strane nižšieho napätia. N, n sú svorky uzlov vinutí. Schéma vinutí transformátora sa kreslí podľa nasledných bodov:

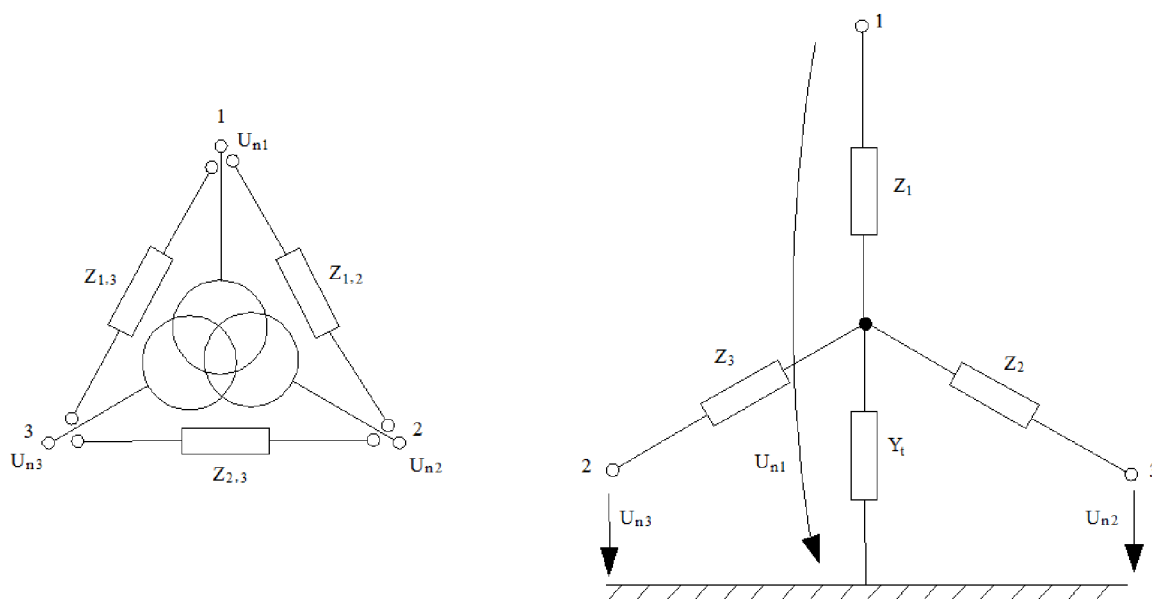
- Vinutie vyššieho napätia sa kreslí pod svorkovnicou a vinutie nižšieho napätia sa kreslí nad svorkovnicou.
- Smery indukovaných napätí oboch vinutí smerujú ku svorkovnici.
- Poradie U, V, W ide zľava doprava.



Obr. 1-2 Príklad zapojenia Yd1 s hodinovým uhlom

1.1.5 Trojvinuťový transformátor

Najrozšírenejšia skupina transformátorov s tromi vinutiami je s jedným vstupným a dvoma výstupnými vinutiami o rôznych hodnotách napätia. Pre transformátor s troma vinutiami je charakteristický vzájomný vplyv výstupných vinutí. Napríklad pri zmene prúdu I_3 sa zmení napätie U_3 , ale aj napätie U_2 , pretože prúd I_3 preteká impedanciou Z_1 a spôsobí úbytok napätia $Z_1 \cdot I_3$, ktorý zmení aj napätie U_2 . Vzájomný vplyv výstupných vinutí je tým väčší čím je väčšia impedancia Z_1 . To vidieť z náhradnej schémy trojvinuťového transformátora uvedenej na Obr. 1-3 [9]. Sieť pripojená na tretie vinutie je obvykle namáhaná značnými skratovými prúdmi. Na tretie vinutie sa niekedy pripája kompenzátor účinku alebo transformátor vlastnej spotreby v transformátorovej stanici. Transformátor s troma vinutiami môže byť takisto použitý na vzájomné prepojenie troch sietí s rôznym napätím. Napríklad transformátor 110/22/6,3 kV kde tretie vinutie môže byť použité ako priemyselný rozvod.



Obr. 1-3 Náhradná schéma trojvinuťového transformátora

2 OCHRANA TRANSFORMÁTOROV

Nasledujúci odsek bol vytvorený podľa [5]. Ochrana transformátorov je z hľadiska škôd, spôsobených výpadkami v prenosovej a distribučnej sústave, najdôležitejšia. Pretože výpadok transformátora spôsobí oveľa väčšie škody ako napr. výpadok jednotlivých vedení distribučnej siete. Transformátory je nutné chrániť pri preťažení a skratoch a to ako pri vnútorných tak aj pri vonkajších skratoch. Typické poruchy a používané ochrany pre transformátory sú uvedené v Tab. 2-1 [5].

Tab. 2-1 Poruchy transformátorov

Druh poruchy	Porucha	Druh ochrany
Vonkajšia porucha	<ol style="list-style-type: none"> 1. Preťaženie 2. Vonkajší skrat 	<p>Prúdová na preťaženie</p> <p>Nezávislá nadprúdová alebo distančná</p>
Vnútorná porucha	<p>a) Náhle sa objavujúca:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. skraty vo vinutí 2. skraty vinutia na nádobu 	<p>Rozdielová ochrana a plynové relé</p> <p>Nádobová (kostrová) ochrana</p>
	<p>b) Objavujúca sa pozvoľna:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zlé galvanické styky, zlá izolácia plechov v nádobe vznikajú mikrooblúky – vývin plynov v oleji 2. Porucha chladenia – prehriatie oleja – vývin plynov 	<p>Plynové relé</p>

2.1 Používané ochrany na výkonových transformátoroch

V Tab. 2-2 [4] sú uvedené ochrany, ktoré uvádza norma ČSN 33 3051, používané pre výkonové transformátory. Pod tabuľkou sú uvedené vysvetlivky ako ich uvádza [4].

Tab. 2-2 Vybavenie transformátorov ochranami

Druh ochrany	Transformátor zvn/vn; vvn/vn; vn/vn; vn/nn				Transformátor zvn/vvn vvv/vvn
	Výkon S [MVA]				
	S < 1,7	1,7 ≤ S S < 5	5 ≤ S S < 25	25 ≤ S	
Nadprúdová skratová alebo impedančná (primárna) ³⁾	X	X	X	X	X
Nadprúdová skratová (sekundárna)	X	X	X	X	X ⁶⁾
Nadprúdová skratová (terciálna)	X	X	X	X	X
Nadprúdová pri preťažení ⁴⁾		X	X	X	X
Plynová		X	X	X	X
Rozdielová		X ¹⁾	X ¹⁾	X	X
Zemná nádobová ²⁾			X	X	X
Tepelná ochrana ⁵⁾				(X)	(X)
Rozdielová odbočky (primárna)					X
Rozdielová odbočky (sekundárna) ⁷⁾					X
Impedančná 1 (sekundárna) ⁸⁾					X
Impedančná 2 (sekundárna) ⁹⁾					X
Použité značenie v tabuľke	X ochrana sa použije			(X) ochrana sa odporúča	

¹⁾ – Iba vtedy, ak nevyhoví časové nastavenie nadprúdovej časovo nezávislej ochrany a nemôže byť (napr. pre zaistenie selektivity) použitá nadprúdová rýchlo spínacia ochrana.

²⁾ – Použije sa pri transformátoroch s účinne uzemneným nulovým bodom (uzlom) vinutia.

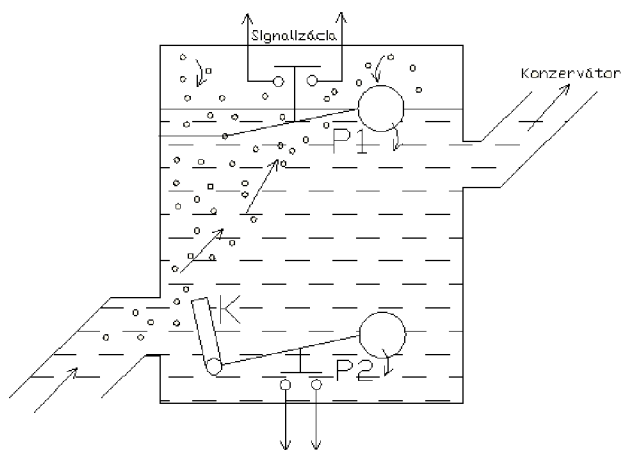
³⁾ – Ak nejde preukázať výpočtom možnosť selektívneho nastavenia prúdového členu nadprúdovej ochrany z dôvodu malého rozdielu medzi najvyšším prevádzkovým prúdom a najnižším prechádzajúcim skratovým prúdom, musí byť ochrana doplnená odblokovaním jej pôsobenia pri podpäti na strane nižšieho napätia. Odporúča sa použiť dvojstupňovú nadprúdovú ochrana. Druhý stupeň (tj. druhé nadprúdové trojfázové časovo nezávislé relé) je potom nastavený na vyšší prúd a kratší čas (alebo bez časového oneskorenia) a spravidla nie je doplnený odblokovaním pôsobenia pri podpäti.

⁴⁾ – Použije sa nadprúdové časovo nezávislé relé alebo závislé relé (spravidla jednofázové). V elektrických staniách a výrobnách bez obsluhy musí byť zabezpečené, aby bol transformátor pri dlhodobom preťažení odľahčený alebo vypnutý, buď automaticky alebo obsluhou zo vzdialeného dispečingu. Ochrana sa použije pokiaľ nie je použitá (kvalitne vyššia) tepelná ochrana.

- ⁵⁾ – Po dohode s výrobcou stroja a prevádzkarom.
- ⁶⁾ – Pre chránenie odbočky od terciálneho vinutia transformátora $z_{vn}(v_{vn})/v_{vn}/v_n$ sa použije dvojstupňová ochrana. Druhý stupeň (tj. druhé nadprúdové trojfázové časovo nezávislé relé) je potom nastavený na vyšší prúd a kratší čas a je doplnený logickou ochranou (tj. pri nábehu tohto relé a súčasnom nenabehnutí nadprúdového relé na prívide do rozvodne v_n sa urýchlí pôsobenie ochrany).
- ⁷⁾ – Použije sa v prípade, ak sa nedá preukázať (napr. výpočtom) spoľahlivé pôsobenie distančnej ochrany s ohľadom na nedostatočný skratový výkon zo strany rozvodne v_{vn} .
- ⁸⁾ – Ochrana je nastavená smerom od transformátora do prípojnic rozvodne v_{vn} . Prvý stupeň je oneskorený. Ochrana chráni transformátor pri vonkajších skratoch na prípojniciach rozvodne v_{vn} a na vedeniach v_{vn} (ako záložná pri zlyhaní ochrán vedení).
- ⁹⁾ – Ochrana je nastavená smerom do transformátora. V prvom stupni chráni odbočku a časť transformátora. V ďalšom stupni zabezpečuje selektívne vypnutie transformátora pri poruche za transformátorom (tj. na strane vyššieho napätia). Pre zaistenie funkcie impedančnej ochrany 1 a 2 je možné použiť jedno (spoločné) impedančné relé, ak je konštruované pre toto použitie a má požadovaný počet stupňov nezávisle nastaviteľných v oboch smeroch.

3 PLYNOVÁ OCHRANA

Text kapitoly bol vytvorený podľa [6]. Buchholzove (plynové) relé sa používa na ochranu olejových transformátorov o menovitom výkone väčšom ako 1000 kVA pred vnútornými poruchami. Vkladá sa do spojovacieho potrubia medzi nádobu transformátora a dilatačnú nádobu (konzervátor). Plynové relé reaguje na vývin plynov v oleji (vodík, metán, kysličník uhoľnatý a uhličitý, dusík a i.) spôsobené prehriatím niektorej časti transformátora pri preťažení vinutia, nadmerným oteplením spôsobeným skratom, na unikanie oleja z nádoby alebo vniknutí vzduchu do oleja. Pri poruchách, ktoré priamo neohrozujú bezpečnosť prevádzky (vývin plynov v oleji), relé poruchu iba signalizuje. Pri poruchách ohrozujúcich bezpečnosť prevádzky (rýchle prúdenie oleja) dáva relé impulz k okamžitému vypnutiu transformátora. Princíp plynového relé je zobrazený na Obr. 3-1 [6].



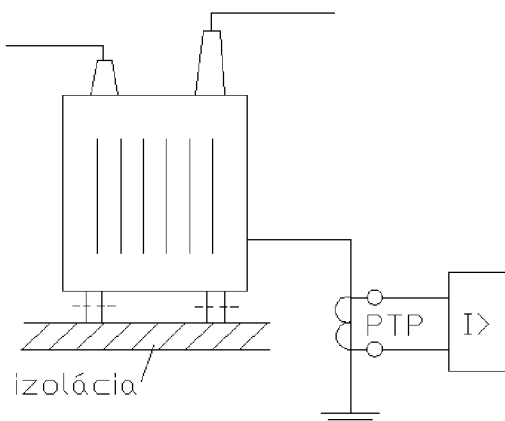
Obr. 3-1 Princíp plynového relé

Plynové relé má teda dva stupne pôsobenia:

- 1.stupeň** – spína plavák P1, ktorý je použitý na signalizáciu, že došlo k pomalému vývinu plynov v oleji, prípadne k menšiemu úniku plynu z nádoby
- 2.stupeň** – došlo k rýchlemu vývinu plynov a olej prúdi do dilatačnej nádoby pri vnútorných skratoch. Najskôr to zachytí klapka K a potom plavák P2. Týmto sa aktivuje vypínací obvod.

4 NÁDOBOVÁ (KOSTROVÁ) OCHRANA

Kapitola bola vytvorená podľa [6]. Niekedy sa nazýva ochrana kostrová, je zobrazená na Obr. 4-1 [6]. Transformátor je uložený na izolačnej podložke. Kostra transformátora (nádoaba) je spojená so uzemňovacou sústavou transformátorovne vodičom, ktorý prechádza prístrojovým transformátorom prúdu. Pri preskoku na priechodkách alebo na vinutí na nádobách preteká prúd cez prístrojový transformátor prúdu do zeme a prúdová ochrana vyvolá vypnutie. Aby nedošlo k chybnému pôsobeniu musí prechádzať všetky káble pomocných obvodov (ventilátory, osvetlenie, diaľková regulácia prepínania odbočiek aj.) cez transformátor prúdu. Potom je ochrana selektívna, pretože skratový prúd pomocných obvodov sa vzájomne odčíta.



Obr. 4-1 Princíp nádobovej ochrany

5 ROZDIELOVÁ OCHRANA

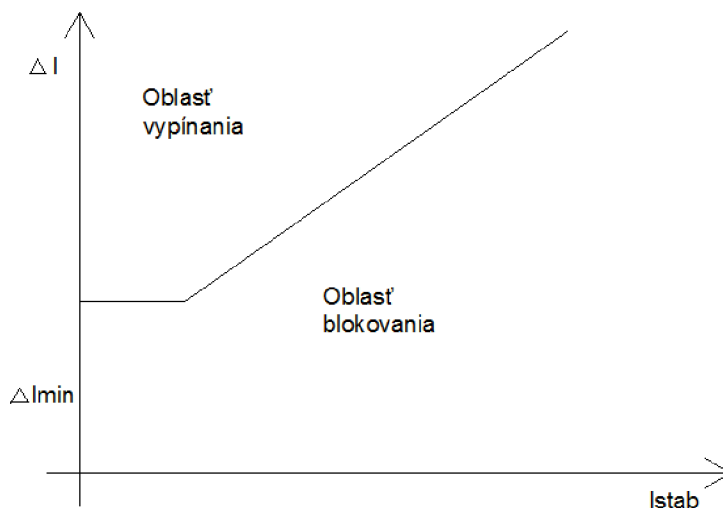
Celá kapitola rozdielová ochrana bola vytvorená podľa [6]. Rozdielová ochrana určuje poruchu z rozdielu fázorov prúdov na vstupe a na výstupe chráneného objektu. V normálnej prevádzke platí rovnica (5.1).

$$\Delta I = \left| \sum_{j=1}^n I_j \right| = 0 \quad (5.1)$$

je to vlastne 1. Kirchhoffov zákon. Pri poruche platí rovnica (5.2).

$$\Delta I = \left| \sum_{j=1}^n I_j \right| > 0 \quad (5.2)$$

Pri zväčšení rozdielového prúdu Δi nad hodnotu nastavenia ochrany i_{∞} (trvalo dovolený rozdiel) ochrana pôsobí. Obecná charakteristika rozdielovej ochrany je na Obr. 5-1 [6].



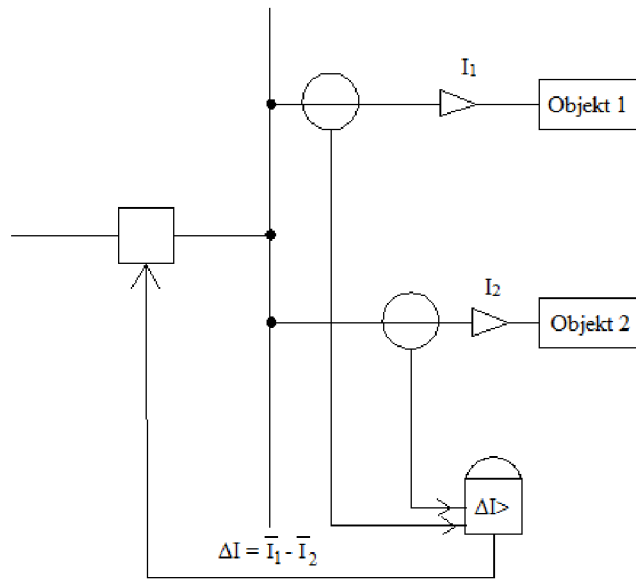
Obr. 5-1 Obecná charakteristika rozdielovej ochrany

Rozdielové ochrany delíme na:

1. ochrana priečna
2. ochrana pozdĺžna

5.1 Priečna rozdielová ochrana

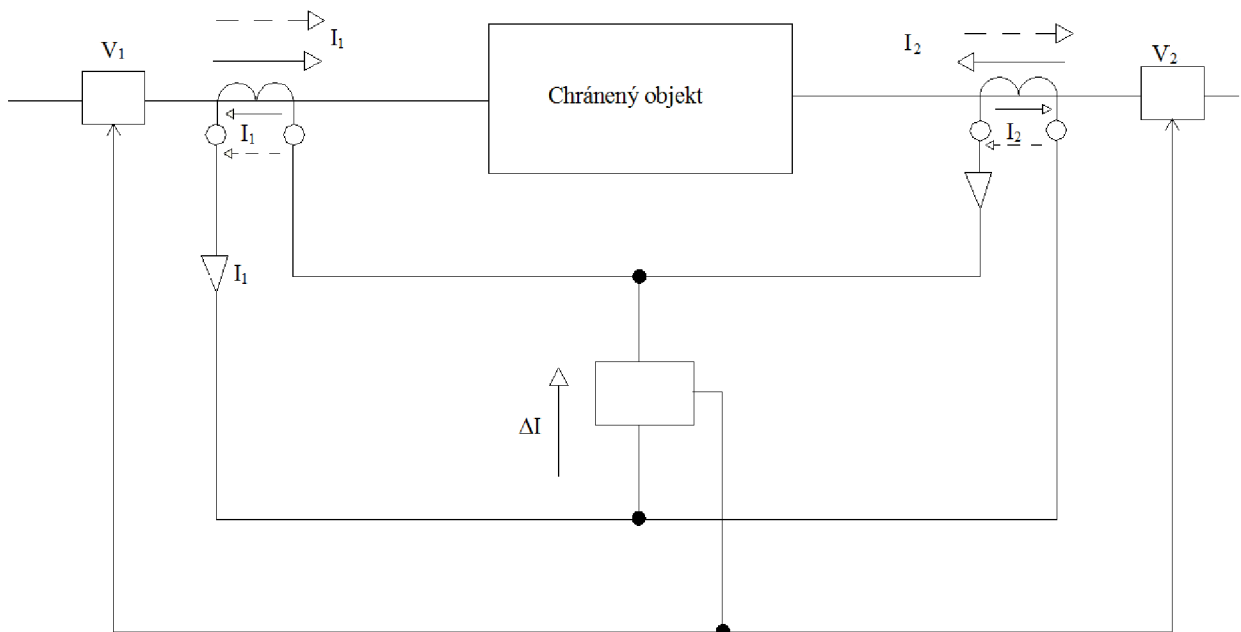
Priečna rozdielová ochrana porovnáva prúdy dvoch zhodných objektov, ktoré pracujú paralelne pri rovnakých podmienkach. Používa sa pri chránení prípojnic, dvoch rovnakých transformátorov pracujúcich v paralelnej prevádzke, paralelných vedení, paralelných vetvách satorového vinutia synchronného generátora a pod. Základom algoritmu chránenia je meranie stabilizovaného diferenciálneho prúdu. Algoritmus spočítava komplexné prúdové fázory základnej zložky. Všetky jednosmerné a harmonické zložky sú potlačené. Priečna rozdielová ochrana je zobrazená na Obr. 5-2 [6].



Obr. 5-2 Princíp zapojenie priečnej rozdielovej ochrany

5.2 Pozdĺžna rozdielová ochrana

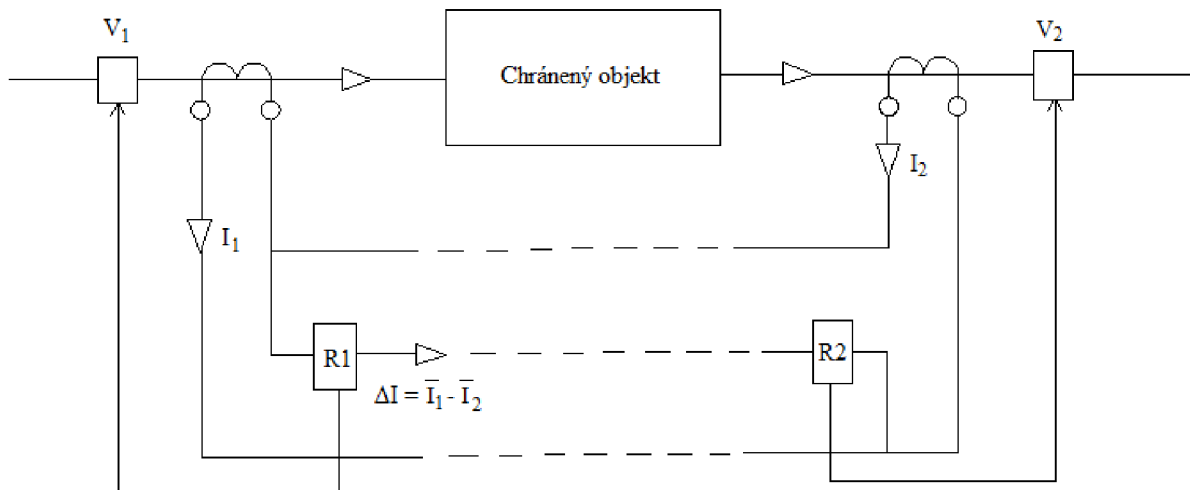
Pozdĺžna rozdielová ochrana, zobrazená na Obr. 5-3 [6], porovnáva prúdy na začiatku a na konci chráneného objektu. Oblasť, ktorú chráni je vymedzená istiacimi transformátormi prúdu. Pri normálnej prevádzke, ak zanedbáme prúdy v priečných admitanciách, sú primárne prúdy I_1 , I_2 rovnaké. Rozdielový prúd $\Delta I = 0$. Pri poruche $\Delta I > 0$ a mení sa smer prúdu I_1 (naznačený na obrázku plnými šípkami). Rozdielový prúd, ktorý tečúci meracím členom potom spôsobí jeho nábeh a vypnutie vypínačov (V_1, V_2) na oboch koncoch chráneného objektu.



Obr. 5-3 Princíp zapojenia pozdĺžnej rozdielovej ochrany

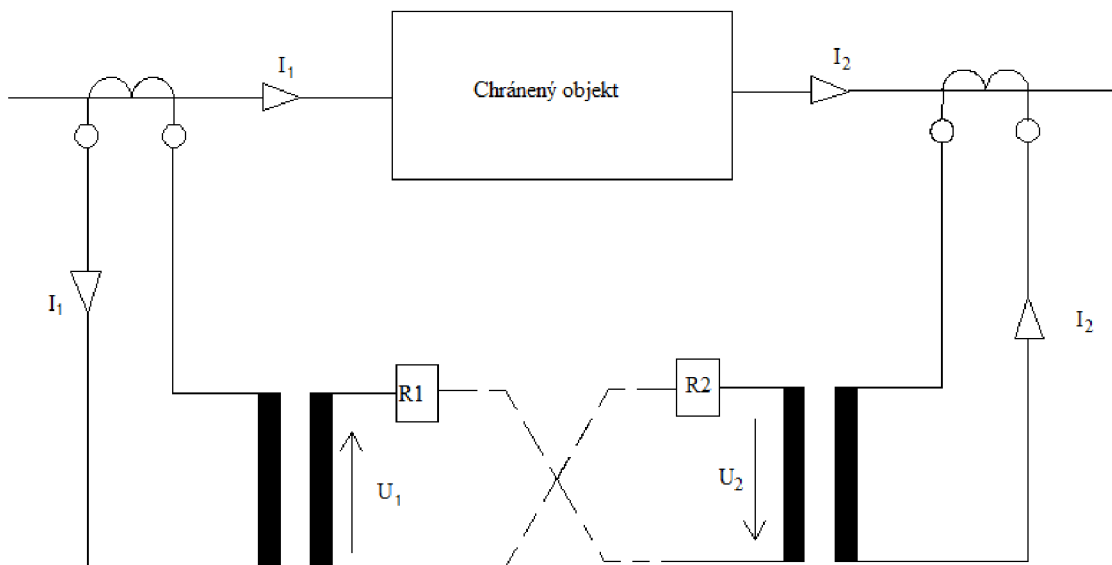
V praxi sa používajú tri základné varianty prevedenia pozdĺžnej rozdielovej ochrany:

- a) **ochrana máloimpedančná:** Má iba jeden merací člen na fázu, ktorý ovláda vypínače na oboch koncoch chráneného objektu. Táto ochrana sa používa zvyčajne na chránenie krátkych objektov. Jej princíp je znázornený na Obr. 5-4 [6].



Obr. 5-4 Princíp zapojenia pozdĺžnej málo impedančnej rozdielovej ochrany

- b) **ochrana veľkoimpedančná:** princíp pôsobenia ochrany je rovnaký ako pri ochrane málo impedančnej ale merací člen má veľkú impedanciu a pri skratoch dochádza k presýteniu istiacich transformátorov prúdu.
- c) **ochrana s napät'ovým porovnaním:** obsahuje dve súpravy relé, medzi ktorými sú pre napät'ové porovnávanie iba dva spojovacie vodiče, čo vidíme na Obr. 5-5 [6], na rozdiel od prúdového porovnávanie kde potrebuje aspoň tri vodiče pri jednofázovom zapojení



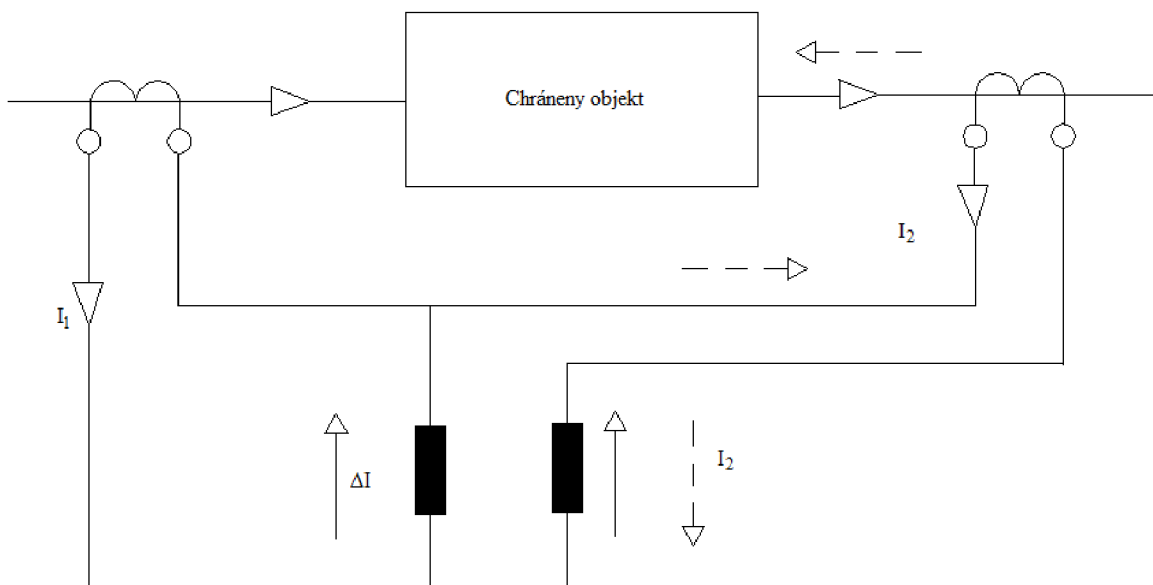
Obr. 5-5 Princíp zapojenia pozdĺžnej rozdielovej ochrany s napät'ovým porovnaním

5.3 Kompenzácia rozdielových meracích členov

Aby rozdielová ochrana nepôsobila chybné pri skratoch mimo chránený objekt musí byť splnená podmienka, že prúdy sekundárneho vinutia istiacich transformátorov prúdu sú pri bezporuchovom chode chráneného objektu rovnaké na oboch koncoch čo do veľkosti i fázy. Preto oba istiace transformátory prúdu musia mať vhodne navrhnutý prevod a pokiaľ možno rovnaký priebeh chyby pri nadprúdoch. Táto podmienka sa problematicky dodržiava pri chránení výkonových transformátorov pretože prevody istiacich transformátorov prúdu musia byť zladené s prevodom silového transformátora s prihliadnutím ku spôsobu zapojenia jeho vinutia. Pri konštrukcii rozdielových ochrán sa počíta s tým, že vyrovnávajúce prúdy tečúce meracím členom pri normálnej prevádzke nie je možné vždy odstrániť ani zmenšiť na vhodnú veľkosť. Pre pôsobenie rozdielových ochrán platí kritérium, že ochrana nesmie pôsobiť ak vyrovnávajúci prúd neprekročí určité percento celkového prechádzajúceho prúdu. Ak je táto hodnota prekročená, znamená to, že ide skôr o vnútornú poruchu chráneného objektu. Z uvedeného dôvodu je nutné vykonať kompenzáciu meracích rozdielových členov. Veľkosť kompenzácie sa odvodzuje od veľkosti prechádzajúceho prúdu chráneným objektom.

5.3.1 Princípy kompenzácie

- a) Merací rozdielový člen má dve vinutia ako je vidieť na Obr. 5-6 [6]. Jedným vinutím (pracovným) prechádza rozdielový prúd $\Delta I = |\bar{I}_1 - \bar{I}_2|$. Vinutím kompenzačným preteká prevádzkový prúd napr. I_2 . Pri normálnej prevádzke alebo pri vonkajších skratoch pôsobí kompenzačné vinutie blokujúcim účinkom. Pri vnútornom skrato chráneného objektu sa obráti smer prúdu I_2 . Rozdielovým členom prechádza prúd a súčasne kompenzačné vinutie napomáha v dôsledku obráteného smeru prúdu I_2 vinutiu rozdielovému a zopnutiu ochrany.

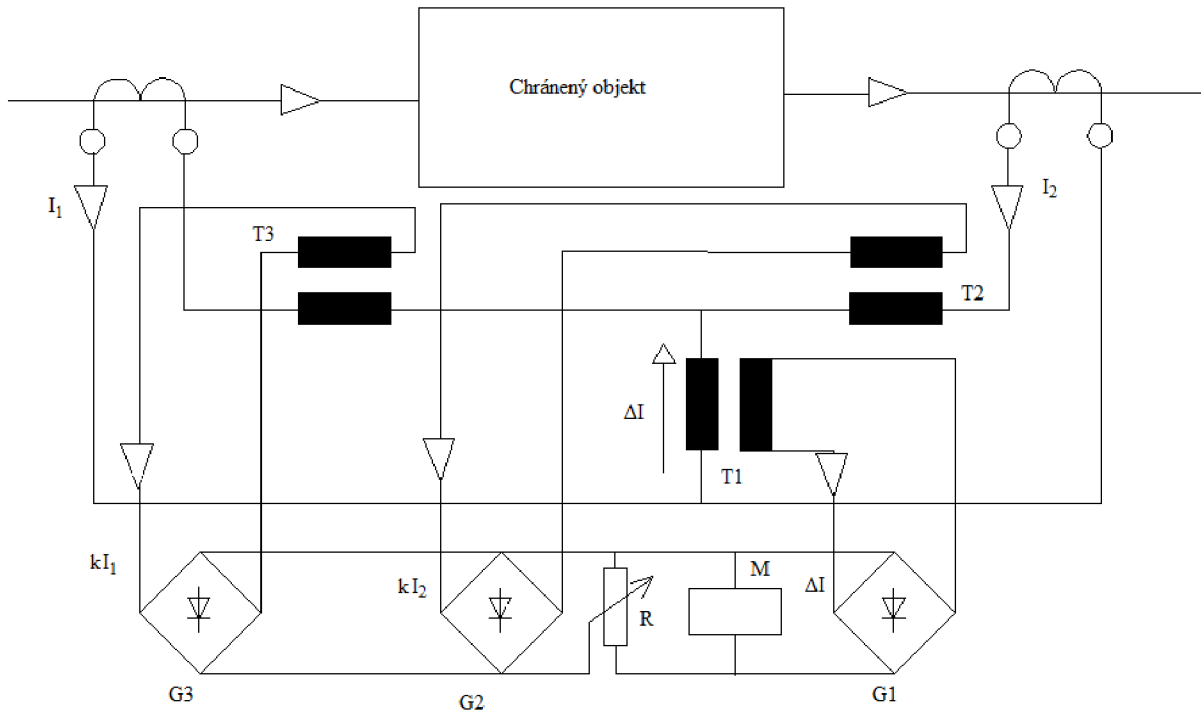


Obr. 5-6 Kompenzácia s rozdielovým členom, ktorý má dve vinutia

- b) Merací člen (napr. jednosmerné relé) býva pólovaný tak, že prúd usmerňovača G1 pôsobí ako vypínací a prúdy usmerňovačov G2, G3 ako blokovací. Vplyv blokovania je vyjadrený faktorom k a riadi sa potenciometrom R (k je zvyčajne nastavené v rozmedzí 0 až 0,4). Veľkosť rozdielového prúdu potrebného k nábehu rozdielovej ochrany v závislosti na prúdoch v kompenzačných (stabilizačných) transformátoroch T2 a T3 je daná vzťahom

$$\Delta I \geq k(|\bar{I}_1| + |\bar{I}_2|) + I_\infty \quad (5.3)$$

kde I_∞ je prúd potrebný pre rozbeh meracieho relé pri tzv. “nulovej stabilizácii”. Toto usporiadanie zaisťuje charakteristiku pôsobenia rozdielovej ochrany podľa Obr. 5-7 [6], kde I_∞ je trvale dovolený rozdielový prúd, ktorý nespôsobí zopnutie ochrany. I_k je prúd zlomu charakteristiky. Sklon charakteristiky v bode I_k závisí na veľkosti nárastu rozdielového prúdu pri vonkajších skratoch.



Obr. 5-7 Spôsob kompenzácie pomocou rozdielového člena s usmerňovačmi

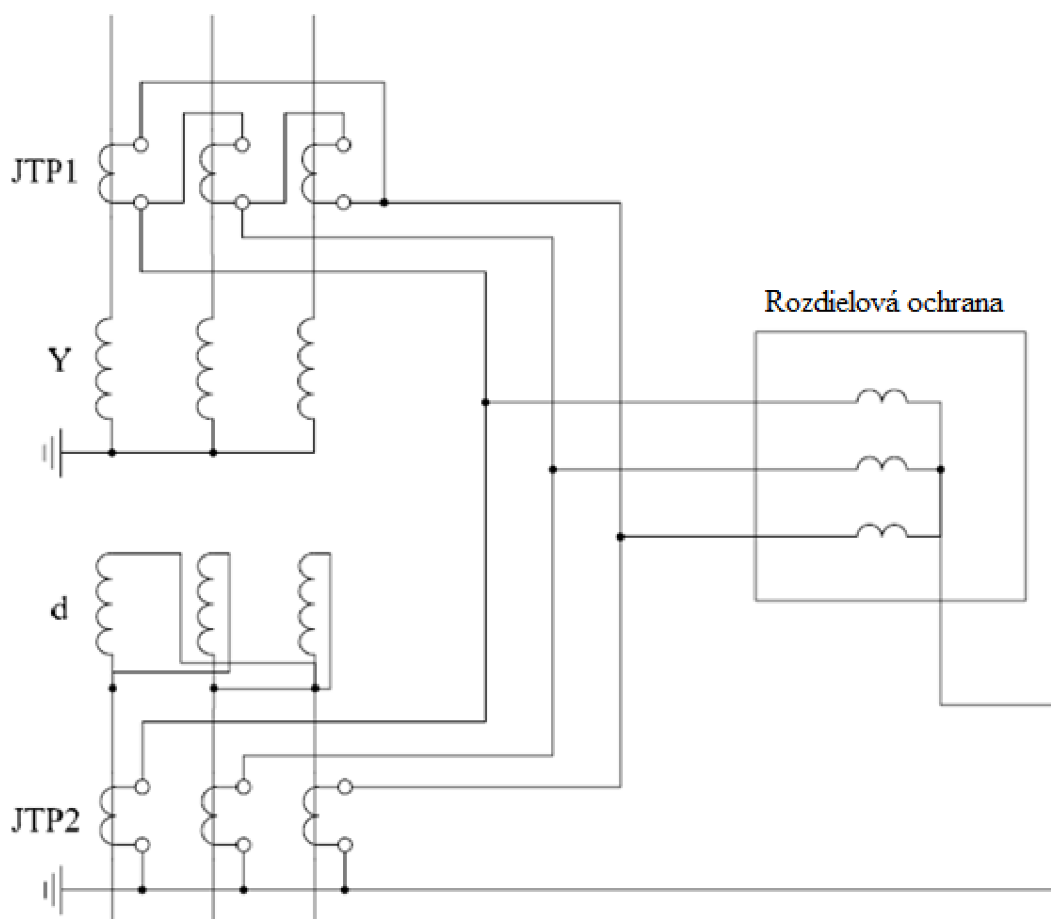
- c) V niektorých typoch rozdielových ochrán je použitý pre kompenzáciu transduktor (magnetický zosilňovač). Jeho pracovné vinutie je pripojené paralelne k meraciemu relé. Na riadiace vinutie transduktora je privedený prúd. Pri jeho zväčšovaní sa znižuje impedancia pracovného vinutia, ktoré vzhľadom k tomu, že je paralelne pripojené k meraciemu relé, znižuje jeho citlivosť. Merací člen potom podľa veľkosti prúdu v riadiacom vinutí transduktora nabieha pri väčšom prúde než zodpovedá nastaveniu.

6 ROZDIELOVÁ OCHRANA TRANSFORMÁTORA

Text kapitoly je vytvorený podľa [6]. Od klasických rozdielových ochrán sa rozdielová ochrana transformátora líši niektorými znakmi:

- je zapojená na istiacie transformátory prúdu, ktoré väčšinou nemajú ideálne zladené prevody. Preto sa veľká pozornosť venuje jej kompenzácii a takisto aj správne nastaveniu citlivosti rozdielového meracieho člena, aby pri normálnej prevádzke ako aj pri vonkajších skratoch nepôsobila chybné
- pri rozdielnom hodinovom uhle spojenia vinutia silového transformátora (najčastejšie Y d) musíme vykonať okrem zladenia prevodu transformátora prúdu aj vyrovnanie ich fázového natočenia. Toto vyrovnanie je pre zapojenie Yd na Obr. 6-1 [6].

Skupina istiacich transformátorov na jednej strane má spojenie sekundárnych vinutí rovnaké ako spojenie vinutí silového transformátora na protíahlej strane. Teda transformátor prúdu má zapojenie sekundárnych vinutí zrkadlovým obrazom zapojenia vinutia silového transformátora.



Obr. 6-1 Princíp fázového vyrovnávania prúdu pre zapojenie Yd

Ak je prevod prúdových transformátorov spojených do hviezdy p_2 na sekundárnej strane silového transformátora, tak prevod prúdových transformátorov zapojených do trojuholníka na primárnej strane silového transformátora bude

$$p_1 = \frac{x}{5\sqrt{3}} \quad \text{kde } x = \frac{U_2}{U_1} \cdot p_2 \cdot I_{2n} \quad (6.1)$$

Kde I_{2n} je menovitý sekundárny prúd prúdových transformátorov spojených do hviezdy (5A alebo 1A)

U_1, U_2 sú menovité napätia silového transformátora

Voľakedy sa používali pre kompenzáciu hodinového uhlu a na doladenie prevodu prúdové medzi transformátory, ktoré sa v súčasnej dobe už neodporúčajú, pretože pri skratoch preťažujú hlavné istiace transformátory prúdu a môžu spôsobiť chybnú reakciu rozdielovej ochrany.

6.1 Blokovanie pri zapínanom ráze

Teória blokovania bola spracovaná podľa [6]. Pri zapnutí transformátora napríklad naprázdno veľký nárast magnetizačného prúdu s vysokou pravdepodobnosťou spôsobí chybné pôsobenie rozdielovej ochrany. Pretože sú rozdielne prúdy v primárnom vinutí je magnetizačný prúd a v sekundárnom je prúd nulový. Veľkosť tohto vzniknutého nárazového prúdu závisí na:

- okamžiku zapnutia
- na remanencii jadra transformátora danej okamžikom posledného vypnutia

Pri zapnutí transformátora nastáva prechodový jav. Magnetický tok Φ sa skladá z dvoch zložiek:

- z ustáleného magnetického sínusového toku
- z prechodnej jednosmernej zložky

Maximálna jednosmerná zložka vzniká pri zapnutí v okamžiku, keď napätie prechádza približne nulou a môže dosiahnuť takmer dvojnásobku amplitúdy ustáleného toku. Amplitúda zapínacieho magnetizačného prúdu môže byť veľká a jej veľkosť závisí na nasýtení a remanencii jadra transformátora. Pre stredné transformátory môže dosiahnuť veľkosť $(50 \div 80) \cdot I_m$ a pre veľké transformátory $(100 \div 120) \cdot I_m$. Kde I_m je amplitúda ustáleného magnetizačného prúdu. Magnetizační (ustálený) prúd býva $(0,01 - 0,05)$ menovitého prúdu. Potom zapínací ráz môže činiť $(0,5 \div 6)$ násobok menovitého prúdu a pri uvažovaní vplyvu remanencie až $10I_n$.

Tento zapínací ráz môže pôsobiť na rozdielovú ochranu ako vnútorná porucha a spôsobiť tým jej vypnutie. Preto musí byť pri zapínaní rozdielová ochrana blokováná. Obvykle sa to uskutočňuje dvoma spôsobmi:

- a) Časovým oneskorením – časové oneskorenie je volené podľa časovej konštanty tlmenia rázového magnetizačného prúdu. Keďže rozdielová ochrana má mať čo najrýchlejšie pôsobenie, časové oneskorenie je nežiaduce. U moderných ochrán sa z uvedeného dôvodu používa blokovanie.
- b) S filtrom na druhú harmonickú – pri rozbere priebehu magnetizačného rázu sa zistilo, že obsahuje výraznú druhú harmonickú. Preto pri výskyte druhej harmonickej ochrana blokuje vypínací impulz.

7 ZÁLOŽNÉ OCHRANY TRANSFORMÁTORA

Kapitola záložné ochrany transformátora bola prevzatá z [6]. Ochrany rozdielové, plynové relé a nádobová ochrana sú základné ochrany transformátora pretože sa vyznačujú rýchlym pôsobením pri vnútorných poruchách. Vonkajšie skraty mimo transformátor musí vypínať ochrana, do ktorej kompetencie porucha patrí. Pri zlyhaní niektorej zo základných ochrán môže dôjsť k nadmernému preťaženiu transformátora prechádzajúcim prúdom a preto musíme základné ochrany doplniť záložnými ochranami. Záložné ochrany musia pôsobiť s oneskorením aby bola zachovaná selektivita vypínania.

a) Nadprúdová časovo nezávislá ochrana

Nastavené oneskorenie pôsobenia musí zaisťovať časovú koordináciu s ostatnými ochranami. Zvýšenie jej citlivosti môžeme dosiahnuť blokovaním na podpätie. Táto ochrana je schopná pôsobiť v rýchлом stupni pri blízkych skratoch, keď napätie skratovej slučky je nízke. Pri vzdialených skratoch je napätie vyššie a ochrana je blokována.

b) Distančná ochrana

Používa sa pre dosiahnutie vyššej selektivity a teda skrátenia vypínacieho času záložnej ochrany. Distančnou ochranou sa obvykle chránia transformátory veľkých výkonov vvn/vvn.

c) Ochrana proti preťaženiu

Môže to byť taktiež nadprúdová ochrana s časovým oneskorením. Najlepšie je použiť ochrany, na ktorých je možné nastaviť tepelný obraz transformátora (termokopiu).

d) Porovnávací ochrana

Obvyklé použitie tejto ochrany je ako spoločná ochrana transformátora a vedenia. Musí byť citlivá na spoločný náraz a preto má malú citlivosť, ktorá nedopustí spustenie na zapínací náraz alebo má blokovanie.

8 DIFERENCIÁLNA OCHRANA SPAD 346 C

Popis diferenciálnej ochrany SPAD 346 C je vytvorený podľa [2]. SPAD 346 C je stabilizovaná trojfázová diferenciálna ochrana určená k chráneniu dvojvinutových transformátorov a blokov generátor – transformátor pri medzifázových poruchách, medzizávitových a zemných skratoch. Takisto je určená pre chránenie generátorov pri vnútorných poruchách a skratoch. Ochrana môže byť tiež použitá pre chránenie trojvinutového transformátora za predpokladu, že skratový výkon je zo 75% dodávaný z rovnakého smeru.

Integrovaná diferenciálna ochrana SPAD 346 C sa skladá z troch nezávislých modulov:

- modul trojfázovej stabilizovanej diferenciálnej ochrany SPCD 3D53
- modul ochrany pri zemných poruchách SPCD 2D55
- kombinovaný modul nadprúdovej ochrany a ochrany pre zemné poruchy SPCJ 4D28

8.1 Modul SPCD 3D53 - modul trojfázovej stabilizovanej diferenciálnej ochrany

Modul SPCD 3D53 je popísaný podľa [3]. Modul diferenciálnej ochrany SPCD 3D53 zaisťuje trojfázové chránenie pri skratoch medzi vinutiami a pre medzizávitových poruchách. Nastavenie ochrany je rovnaké pre všetky tri fázy. Modul meria fázové prúdy chráneného transformátora strany VVN a VN, alebo fázové prúdy v nulovom bode a na vývode chráneného generátoru. Stabilizovaný i okamžitý diferenciálny stupeň vyhodnocujú základné frekvenčné zložky fázových prúdov I_1 a I_2 . Teda prúdov na oboch stranách chráneného objektu. Ak diferenciálny prúd fázových prúdov prekročí v ktorejkoľvek fáze hodnotu nastavenú a definovanú stabilizovanou vypínacou charakteristikou alebo hodnotu nastavenú pre okamžitý stupeň ochrany, modul aktivuje signál pôsobenia. Diferenciálny prúd môže byť vyvolaný buď rozdielom amplitúd alebo rozdielom fázy vstupných prúdov.

Všetky zložky, základná frekvenčná zložka diferenciálneho a stabilizačného prúdu, druhá a piata harmonická zložka diferenciálneho prúdu, sú filtrované číslicovo.

Modul je možné použiť vo frekvenčnom rozsahu 16,667 Hz až 60Hz. Nastavenie frekvencie je s presnosťou 1mHz.

Modul obsahuje:

- stabilizovaný prúdový diferenciálny stupeň
- blokovanie druhou harmonickou zložkou diferenciálneho prúdu
- blokovanie piatou harmonickou zložkou diferenciálneho prúdu
- okamžitý prúdový diferenciálny stupeň
- poruchový zapisovač

8.2 Modul SPCD 2D55 – modul ochrany pre zemné poruchy

Modul SPCD 2D55 je popísaný podľa [2]. Modul SPCD 2D55 sa používa pre chránenie transformátorového vinutia strany VVN aj VN pri dvojvinutových transformátoroch. Modul je vybavený funkciou poruchového zapisovača. Pre chránenie transformátorov pri zemných poruchách existujú štyri rôzne princípy ako môže byť realizovaná ochrana. A to:

- princíp číslicovo stabilizovanej prúdovej diferencie
- princíp vysoko impedančný
- princíp nadprúdovej funkcie vyhodnocujúci nulovú zložku prúdu
- princíp nadprúdovej funkcie vyhodnocujúci nulový prúd

Keďže ochrany pre zemné poruchy strán VVN a VN sú vzájomne nezávislé, tak môže byť na každej strane použitý rozdielny princíp chránenia.

8.3 Modul SPCJ 4D28 - kombinovaný modul ochrany pre zemné poruchy a nadprúdovej ochrany

Modul SPCJ 4D28 je popísaný podľa [2]. Časť modulu SPCJ 4D28, ktorá vyhodnocuje zemné poruchy je určená pre použitie ako nesmerová ochrana. Používa sa ako záložná ochrana zemných porúch výkonových transformátorov. Je vybavená dvojestupňovou ochranou. Prvý stupeň je stupeň s nízkym nastavením I_0 a druhý stupeň je stupeň s vysokým nastavením I_0 . Aktivačný signál je možné pri oboch stupňoch priradiť k požadovanému výstupnému signálu. V prípade ak uplynie nastavený čas oneskorenia a zemná porucha trvá tak sa aktivuje príslušný výstupný signál. Stupeň s nízkym nastavením I_0 môže mať časovo nezávislú a takisto aj závislú oneskorenú charakteristiku, ale stupeň s vysokým nastavením I_0 môže mať jedine časovo nezávislú oneskorenú charakteristiku. Nastavením zodpovedajúceho konfiguračného predpisu je možné blokovat' pôsobenie rôznych stupňov.

Časť modulu SPCJ 4D28, ktorá vyhodnocuje nadprúdy je určená pre chránenie generátorov a transformátorov pri jednofázových, dvojfázových a trojfázových skratoch. Nadprúdová ochrana obsahuje tri nadprúdové stupne chránenia. A to: stupeň I>, stupeň I>> a stupeň I>>>. Nadprúdový stupeň sa aktivuje ak v jednej fáze prekročí prúd nastavenú hodnotu. Pri dostatočne dlhej dobe pôsobenia takéhoto prevádzkového stavu stupeň, ktorý bol aktivovaný vygeneruje na príslušný vypínač vypínací signál.

8.4 Stabilizovaný prúdový diferenciálny stupeň 3 ΔI>

Popis prúdového diferenciálneho stupňa je spracovaný podľa [3]. Základné nastavenie P/I_n , nastavenie popudového pomeru S a nastavenie druhého zlomu charakteristiky určuje pracovnú charakteristiku stabilizovaného prúdového diferenciálneho stupňa 3 ΔI>. Ochranou je vypínací signál aktivovaný ak hodnota diferenciálneho prúdu prekročí hodnoty nastavené vypínacou charakteristikou a pokiaľ tento výstupný signál nie je blokován internými blokovacími signálmi alebo externými blokovacími signálmi BS1, BS2, BS3, BS4, BS5. Prepínače SGB2/1...8 sa používajú pre nastavenie týchto blokovacích signálov.

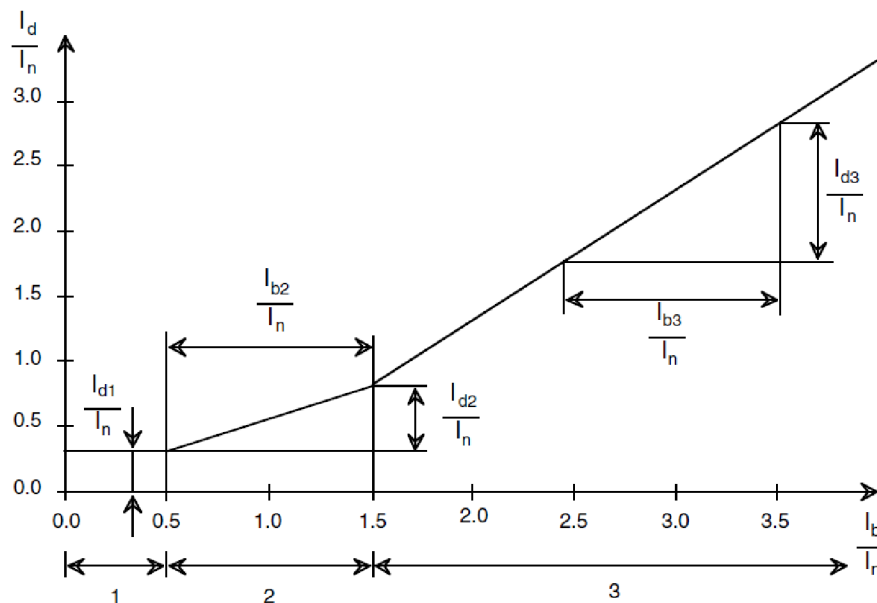
Ak fázory sekundárnych prúdov vstupnej a výstupnej strany chráneného objektu sú označené ako \bar{I}_1 a \bar{I}_2 amplitúda diferenciálneho prúdu I_d je definovaná podľa rovnice (8.1).

$$I_d = \left| \bar{I}_1 - \bar{I}_2 \right| \quad (8.1)$$

V stave bez poruchy, tzn. v normálnom prevádzkovom stave, sú sekundárne prúdy vstupnej a výstupnej strany chráneného objektu rovnaké $I_1 = I_2$ a diferenciálny prúd je nulový ($I_d = 0$). Hodnota diferenciálneho prúdu v praxi pri chránení výkonového transformátora nie je nulová čo je spôsobené obvykle nepresnosťou meracích transformátorov prúdu, zapínaním prúdom transformátora, prúdom transformátora pri chode naprázdno a zmenou polohy regulačnej odbočky. Priamo úmerne so zaťažením transformátora stúpa diferenciálny prúd spôsobený zmenou polohy regulačnej odbočky a diferenciálny prúd spôsobený nepresnosťou meracích transformátorov prúdu. Z tohto dôvodu pri stabilizovanej diferenciálnej ochrane diferenciálny prúd potrebný k aktivácii ochrany stúpa so zaťažovacím prúdom chráneného objektu. Stabilizovaný prúd I_b je definovaný podľa rovnice (8.2).

$$I_b = \frac{|\bar{I}_1 + \bar{I}_2|}{2} \quad (8.2)$$

Na Obr. 8-1 [3] je pomocou prevádzkovej vypínacej charakteristiky graficky znázornený stabilizačný faktor, ktorým je ovplyvnené pôsobenie ochrany.



Obr. 8-1 Vypínacia charakteristika ochrany SPAD 346C

Základné nastavenie P/I_n stabilizovaného stupňa modulu diferenciálnej ochrany, ktoré môže byť v rozsahu 5% - 50% je určené z rovnice (8.3).

$$P/I_n = \frac{I_{d1}}{I_n} \quad (8.3)$$

V tejto časti charakteristiky nastavenej pomocou základného nastavenia P/I_n ($0,0 \leq I_b/I_n < 0,5$) je konštantný diferenciálny prúd potrebný k aktivácii ochrany a jeho hodnota je rovnaká ako základné nastavenie P/I_n zvolené na module ochrany. Toto nastavenie v zásade zohľadňuje prúd výkonového transformátora naprázdno. Pri menovitých hodnotách prúdu a napätia sú celkové straty naprázdno asi 0,2%. Ak sa pri prevádzkových poruchách náhle zvýši napájacie napätie transformátora o niekoľko percent, tak sa zvýši magnetizačný prúd transformátora o niekoľko desiatok percent. Táto skutočnosť musí byť teda zohľadnená v hodnote základného nastavenia.

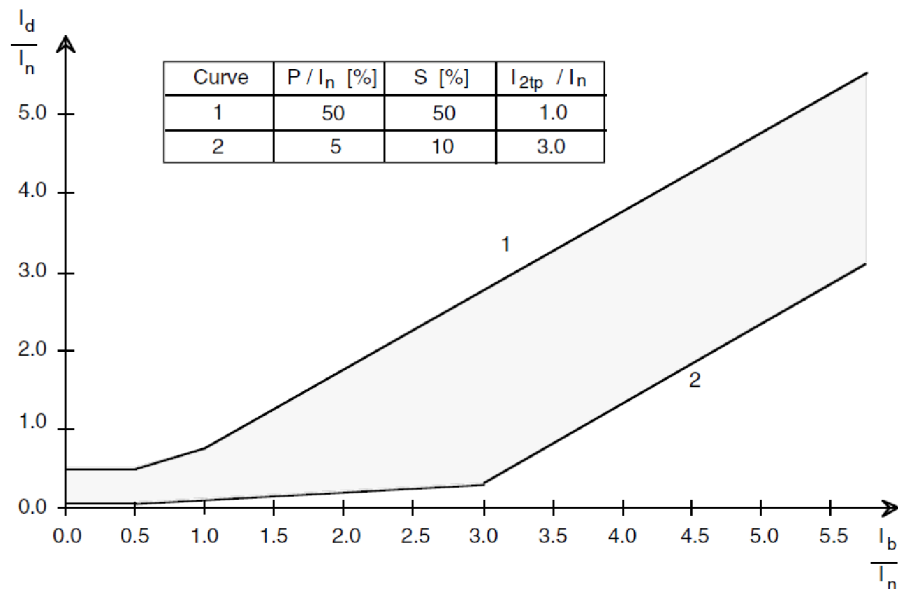
Popudový pomer S , ktorý môže byť v rozsahu 10% - 50%, je definovaný podľa rovnice (8.4).

$$S = \frac{I_{d2}}{I_{b2}} \quad (8.4)$$

Je to vlastne pomer medzi zmenou zaťažovacieho prúdu a zmenou diferenciálneho prúdu potrebného k aktivácii vypnutia. Popudový pomer S určuje sklon charakteristiky v oblasti ($0,5 \leq I_b/I_n < I_{2tp}/I_n$). Popudový pomer zohľadňuje chyby prístrojových transformátorov prúdu a zmeny v polohe regulačnej odbočky výkonového transformátora. Citlivosť reakcie ochrany na medzizávitové skraty transformátora sa znižuje s nastavením vyššieho popudového pomeru a preto by tento pomer nemal byť príliš vysoký.

Bod druhého zlomu charakteristiky I_{2tp}/I_n je možné nastaviť na hodnotu 1,0 až 3,0. Bod prvého zlomu charakteristiky je vždy nastavený na hodnotu 0,5.

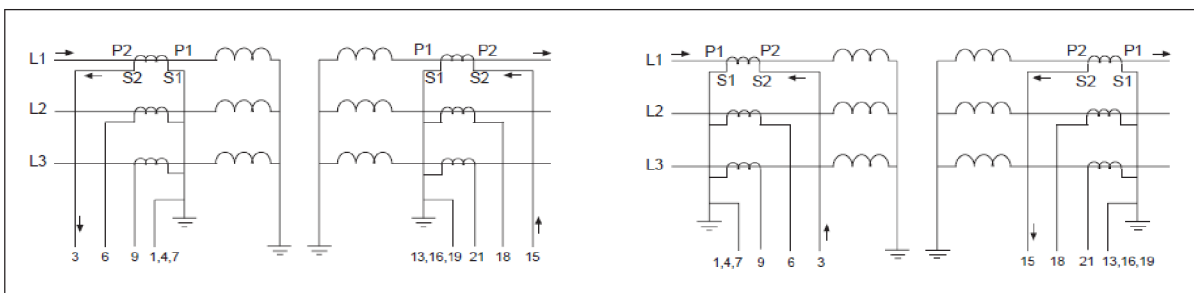
Charakteristika od bodu I_{2tp}/I_n má konštantný sklon 100% tzn. nárast diferenciálneho prúdu I_d je rovnaký ako zodpovedajúci nárast stabilizačného prúdu I_b . Na Obr. 8-2 [3] sú vidieť medzné vypínacie charakteristiky ochrany.



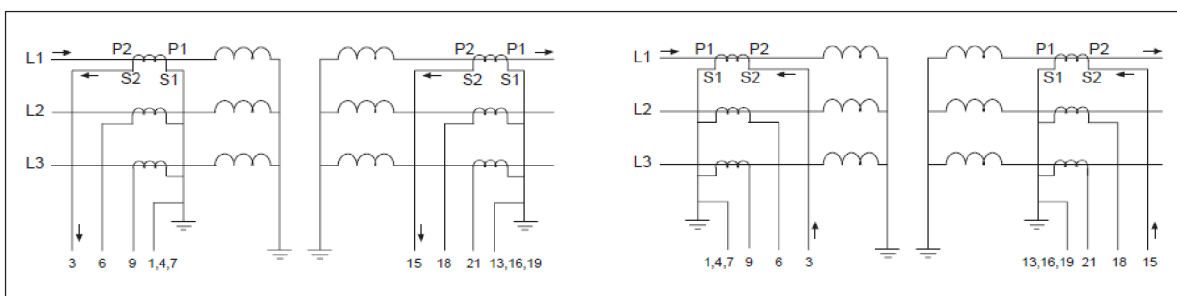
Obr. 8-2 Medzné vypínacie charakteristiky

8.4.1 Prispôbenie vektorovej skupine

Odsek je popísaný podľa [3]. Vektorová skupina výkonových transformátorov na strane VVN a VN je číslícovo prispôbena pomocou prepínačov SGF1/3...8. Zhoda je založená na posune fáz a číslícovým vytvorením zapojenia do trojuholníka vo vnútri ochrany. Pripojenie prístrojových transformátorov prúdu na ochranu je na Obr. 8-3 [3] pre typ I a na Obr. 8-4 [3] pre typ II. Pri type I je uzemnenie prúdových transformátorov strán VVN a VN prevedené vo vnútri alebo mimo chránenej zóny. To znamená, že obe strany sú uzemnené buď vo vnútri alebo mimo chránenej zóny. Pre typ II je uzemnenie prúdových transformátorov prevedené tak, že jedna strana má prúdové transformátory uzemnené mimo a druhá vo vnútri chránenej zóny.



Obr. 8-3 Typové zapojenie prúdových transformátorov - typ I



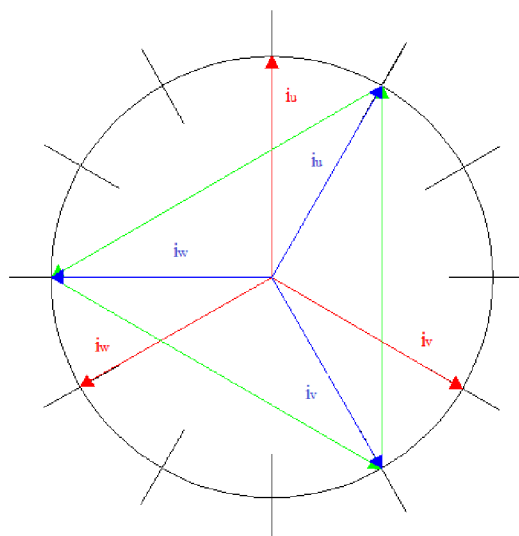
Obr. 8-4 Typové zapojenie prúdových transformátorov - typ II

Pre kompenzáciu fázového posunu medzi stranou VVN a VN výkonového transformátora sa používajú prepínače SGF1/3...8, ktorých nastavenie je v Tab. 8-1 [3]. Prispôsobenie je možné na jednej, druhej alebo oboch stranách výkonového transformátora. Takmer vždy sa prispôsobenie vykonáva na strane transformátora zapojenej do hviezdy. V tomto prípade je pri zemných poruchách mimo chránenú zónu na strane zapojenej do hviezdy nulová zložka eliminovaná ešte skôr ako sú vypočítané diferenciálne a stabilizačné prúdy.

Tab. 8-1 Nastavenie prepínačov SGF1/3...8

Interné prispôsobenie	strana VN				strana VVN			
	SGF1/3	SGF1/4	SGF1/5	Kontrolný súčet	SGF1/6	SGF1/7	SGF1/8	Kontrolný súčet
Yy0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yd1	1	0	0	4	1	0	0	32
Yd5	0	1	0	8	0	1	0	64
Yy6	1	1	0	12	1	1	0	96
Yd7	0	0	1	16	0	0	1	128
Yd11	1	0	1	20	1	0	1	160

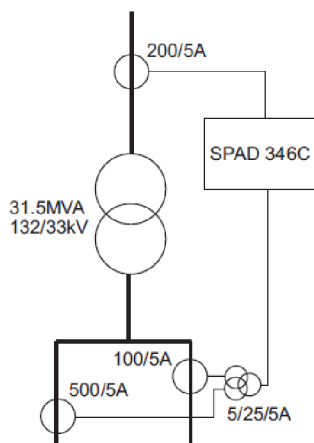
Prispôsobenie fázového posunu pre zapojenie YNd1 je zobrazené na Obr. 8-5. Pre toto konkrétne zapojenie sú fázové posuny prúdov na primárnej strane: $L_u = 0^\circ$, $L_v = -120^\circ$, $L_w = 120^\circ$ a na sekundárnej strane: $L_u = -30^\circ$, $L_v = -150^\circ$, $L_w = 90^\circ$. Vyplýva to z nastavenia vektorovej skupiny a interného prispôsobenia vo vnútri ochrany.



Obr. 8-5 Prispôsobenie fázového posunu pre zapojenie YNd1

8.4.2 Chránenie trojvintu'ových transformátorov

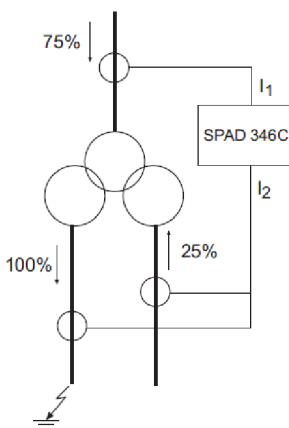
SPAD 346 C môže byť použitá pre chránenie trojvintu'ových transformátorov alebo dvojvintu'ových transformátorov s dvoma výstupmi. Na sekundárnej strane dvojvintu'ového transformátora je potrebné paralelne sčítať prevody prístrojových transformátorov ako je uvedené na Obr. 8-6 [1].



Obr. 8-6 Zapojenie ochrany na dvojvintu'ový transformátor s dvoma výstupmi

Najdôležitejším pravidlom je, že 75 % skratovej energie musí byť pripojenej iba cez jedno pripojenie do ochrany, to je zrejmé aj z Obr. 8-7 [1] kde je uvedený prípad pre trojvintu'ový transformátor. Je to dôležité kvôli stabilizačnému prúdu, ktorý sa počíta podľa rovnice (8.2). Po úprave tejto rovnice pre tento prípad dostaneme rovnicu:

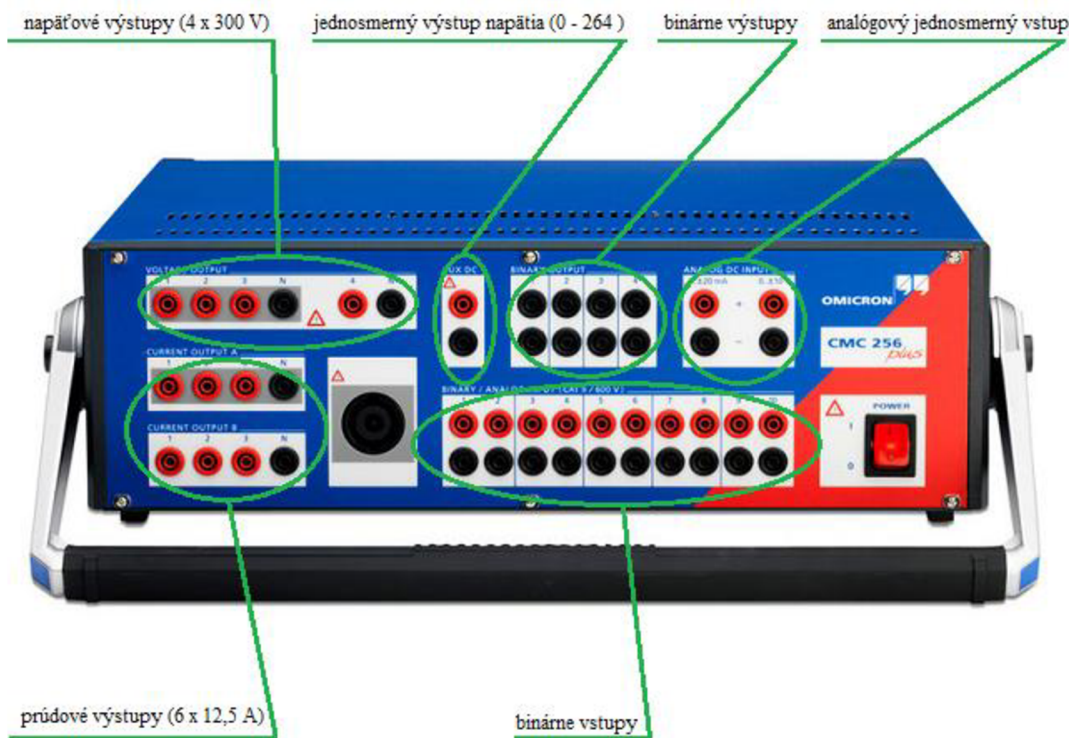
$$I_b = \frac{|\bar{I}_1 + \bar{I}_2|}{2} = \frac{75\% + (100\% - 25\%)}{2} = 75\% \quad (8.5)$$



Obr. 8-7 Zapojenie ochrany na trojvintu'ový transformátor

9 TESTOVACIE ZARIADENIE OMICRON CMC 256 PLUS

Popis testovacieho zariadenia je podľa [7]. CMC 256 je počítačovo ovládané testovacie zariadenie pre testovanie elektromerov, meničov, ochrán a i. Je ním možné simulovať reálne podmienky napájania ochrán v rôznych prevádzkach. Konfigurácia a ovládanie CMC 256 je vykonávané pomocou testovacieho softvéru OMICRON Test Universe, v ktorom sú rôzne testovacie moduly. Zariadenie je spojené s osobným počítačom pomocou rozhrania ethernet. Zariadenie obsahuje niekoľko galvanicky oddelených blokov, ktoré sú popísané na Obr. 9-1 [7].



Obr. 9-1 Popis testovacieho zariadenia CMC 256 plus

Prúdové výstupy

Prúdový výstup A a prúdový výstup B sú dva galvanicky oddelené trojfázové výstupy. Každý výstup je galvanicky oddelený od ostatných pripojení CMC 256 plus. Výstupy sú realizované ako spínané zosilňovače s jednosmernými spojkami. Vďaka tejto technológii je možné dosiahnuť vysoký výkon pri veľmi kompaktnej konštrukcii testovacieho zariadenia. Výstupy sú vybavené dvoma prúdovými rozsahmi aby sa zvýšili ich dynamické rozsahy a to:

- Rozsah 1: 6 x 1,25 A
- Rozsah 2: 6 x 12,5 A

Binárne vstupy

Binárne vstupy sú rozdelené do piatich skupín po dvoch. Každá skupina je galvanicky oddelená od ostatných. Vstupné signály sú monitorované pomocou izolačných zosilňovačov s časovým rozlíšením 100 ms. Binárne vstupy sú nastavované pomocou hardvérovej konfigurácie v menu softvéru Test Universe a môžu byť použité ako počítačové vstupy pre vstup do frekvencie 3 kHz.

Napät'ové výstupy

Napät'ové výstupy majú spoločnú svorku N a sú galvanicky oddelené od ostatných výstupov CMC 256 plus. Oboje svorky N sú galvanicky prepojené. Výstupy sú realizované ako spínané zosilňovače s jednosmernými spojkami. Výstupy pracujú v dvoch rozsahoch:

- Rozsah 1: 4 x 0 – 150 V
- Rozsah 2: 4 x 0 – 300 V

Analógový jednosmerný vstup

Meranie jednosmerných analógových signálov je realizované pomocou prevodníkov a skladá sa z:

- digitálno-analógového prevodníku pre každý vstup
- príslušných vstupných obvodov (delič napätia, bočník, filter)

Prúdový jednosmerný vstup má dva rozsahy 0...±20 mA a 0...±1 mA. Vyhodnotenie a odovzdávanie nameraných hodnôt sa uskutočňuje v meracej jednotke. J jednosmerný vstup je galvanicky oddelený od všetkých iných vstupov a výstupov na prednom paneli.

Jednosmerný výstup napätia

Objekty, pri ktorých je potrebné pomocné jednosmerné napätie môžu byť napájané z jednosmerného výstupu napätia, ktorý má rozsah 0 – 264 V a konfiguruje sa pomocou softvéru. Tento výstup je galvanicky oddelený od ostatných výstupov.

9.1 Softvér OMICRON Test Universe

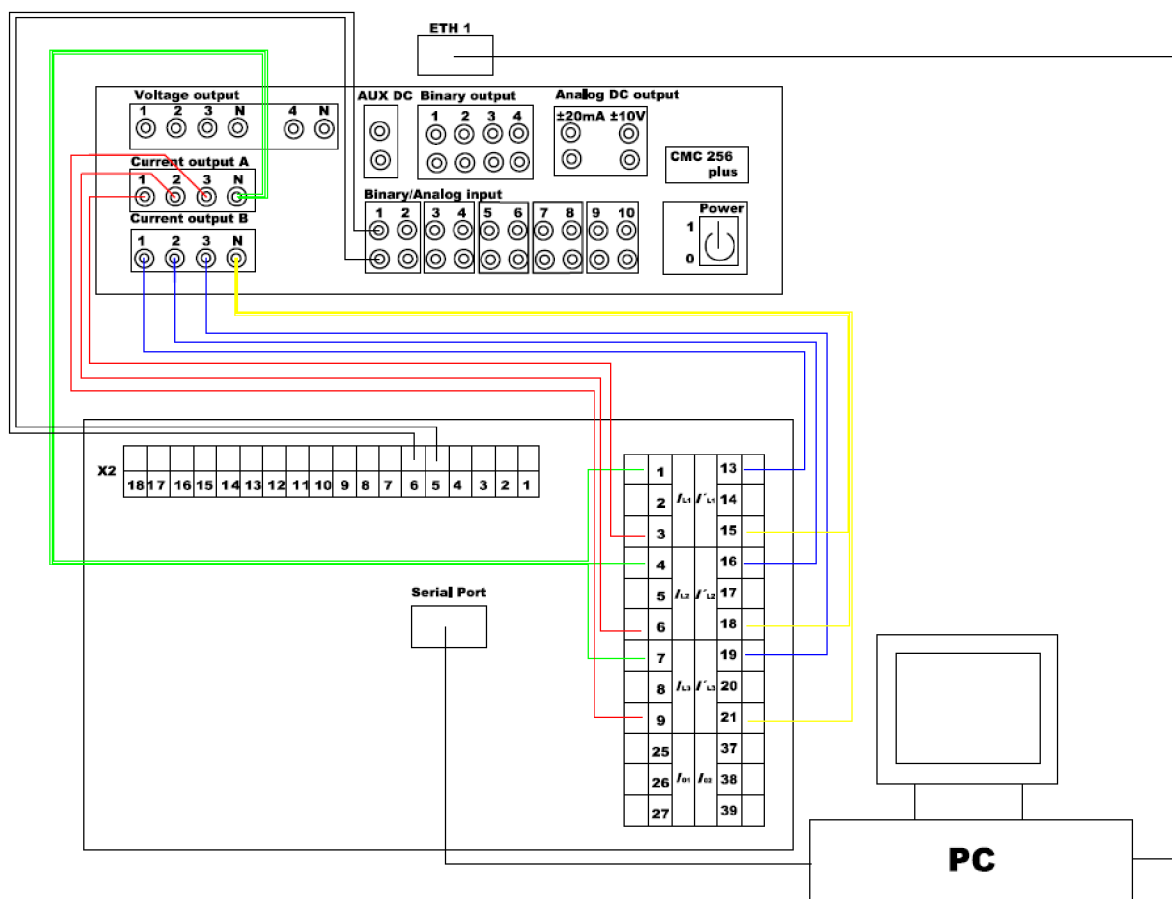
Popis softvéru je spracovaný podľa [8]. OMICRON Test Universe je užívateľský softvér pre ovládanie hardvéru (testovacieho zariadenia). Poskytuje komplexnú flexibilitu a prispôsobivosť pre rôzne testovacie aplikácie. Testovací softvér má viacero svojich verzií. Každá verzia obsahuje výber rôznych testovacích modulov. Testovacie moduly môžu pracovať nezávisle (pre jednotlivé skúšky) alebo byť vložené s ďalšími modulmi v pláne skúšok (Control center) pre kompletne multifunkčné testy. Toto nám umožňuje väčšiu pružnosť a prispôsobivosť v testovaní. OMICRON Control center (OCC) zahŕňa všetky informácie vzťahujúce sa k testu tj. rozpoznanie hardvéru, test objektu, test parametrov, výsledky testov, posúdenie testu, poznámky ale aj snímky z testu. Výsledky z testu sa dajú opakovane použiť pri ďalšom testovaní ale je ich možné aj uložiť v niektorom textových alebo výkresových formátoch podporovaných systémom Windows.

Pre testovanie diferenciálnej ochrany SPAD 346C je použitý modul QuickCMC. V menu modulu QuickCMC je možné vykonávať skúšky nastavené na prednom paneli testovacieho zariadenia. Výstupné napätie, prúdy a frekvenciu je možné meniť staticky alebo ako skokové pulzy výstupného signálu. Pomocou modulu je taktiež možné ručné testovanie blokovania zapínania či synchronizácie bez spúšťania ďalších testovacích modulov. Pomocou tohto modulu je možné naraz nastavovať a kontrolovať až 16 testovacích zariadení. Pre trojfázové testovanie diferenciálnej ochrany je možné nastavenie hardvérovej konfigurácie. Z menu tohto modulu sa priamo ovláda testovacie zariadenie. V tomto module je možné nastavenie zmeny amplitúdy alebo fázového natočenia vektora prúdu výstupného prúdového signálu a to buď pre jednu fázu prúdového výstupu alebo pre všetky tri fázy daného prúdového výstupu (A alebo B). Zmeny amplitúdy (alebo fázového natočenia vektora) je možné vykonávať jednotlivo ale aj automaticky o zvolenú hodnotu amplitúdy (alebo fázového natočenia vektora) v čase nastavenom užívateľom. Najmenšia hodnota pre nastavenie časovej zmeny je 100 ms.

10 POSTUP NASTAVENIA TESTOVANIA MODULU 3D53

10.1 Zapojenie testovanej úlohy

Testovanie funkcie modulu 3D53 diferenciálnej ochrany SPAD 346C bolo uskutočňované pomocou testovacieho zariadenia OMICRON CMC 256plus. Nastavovanie testovacieho zariadenia ako aj diferenciálnej ochrany bolo uskutočňované pomocou počítača. Komunikácia ochrany a počítača bola cez sériový port. Testovacie zariadenie komunikovalo s počítačom cez port ETH1. Samotné prepojenie testovacieho zariadenia a diferenciálnej ochrany bolo prevedené celkom so štrnástimi vodičmi. Ich zapojenie je vidieť na Obr. 10-1. Dva z týchto vodičov slúžili na komunikáciu medzi testovacím zariadením a ochranou. Cez tieto dva vodiče ochrana posielala testovaciemu zariadeniu informáciu či je aktivovaná alebo nie. Ostatných dvanásť vodičov slúžilo na privádzanie prúdov z testovacieho zariadenia do ochrany. Čísla svoriek musia korešpondovať so zapojením typu I podľa Obr. 8-3 alebo typu II podľa Obr. 8-4.

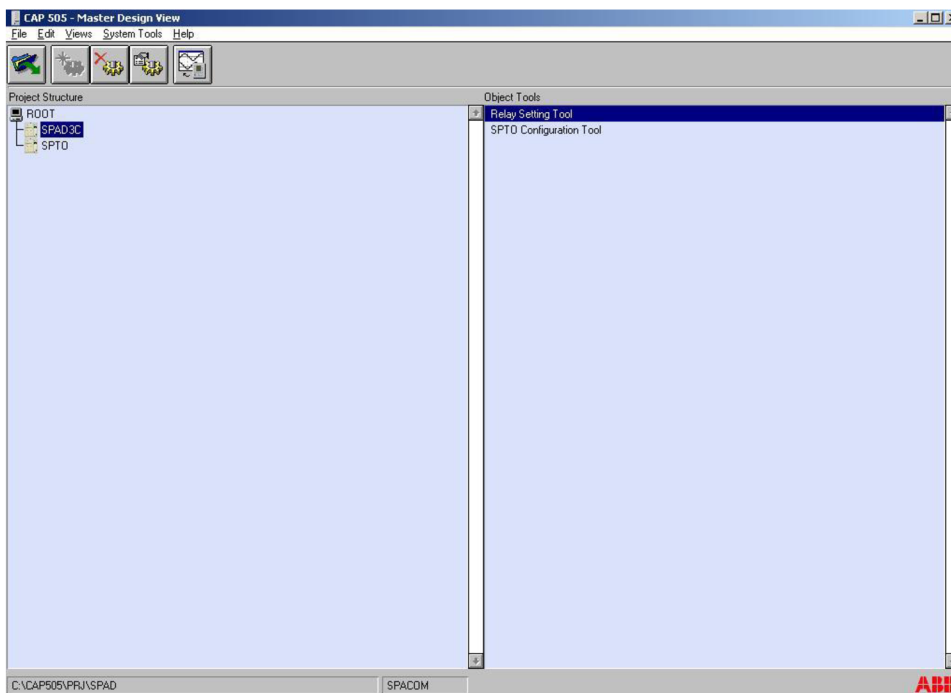


Obr. 10-1 Schéma zapojenia testovanej úlohy

10.2 Nastavovanie ochrany SPAD 346C

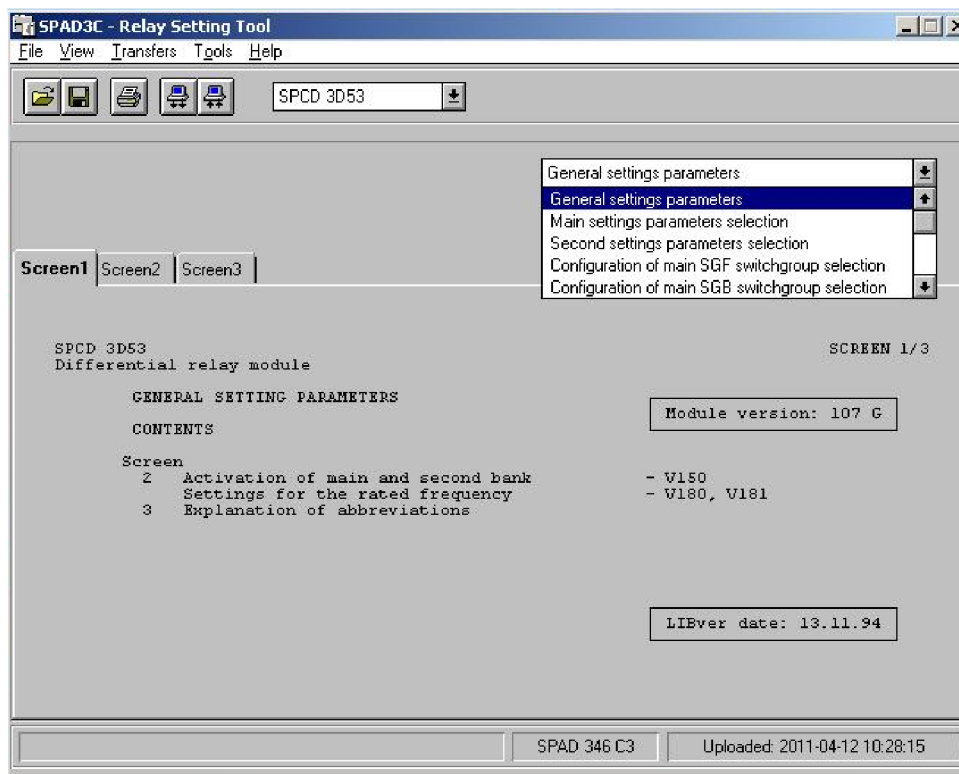
Ochrana SPAD 346C je možné nastavovať buď priamo na ochrane alebo pomocou počítača a v ňom nainštalovaného softvéru CAP 505. Nastavenie pomocou počítačového softvéru je prehľadnejšie a rýchlejšie a preto bol volený tento variant.

Po otvorení programu CAP 505 sa nám zobrazí okno zobrazené na Obr. 10-2.



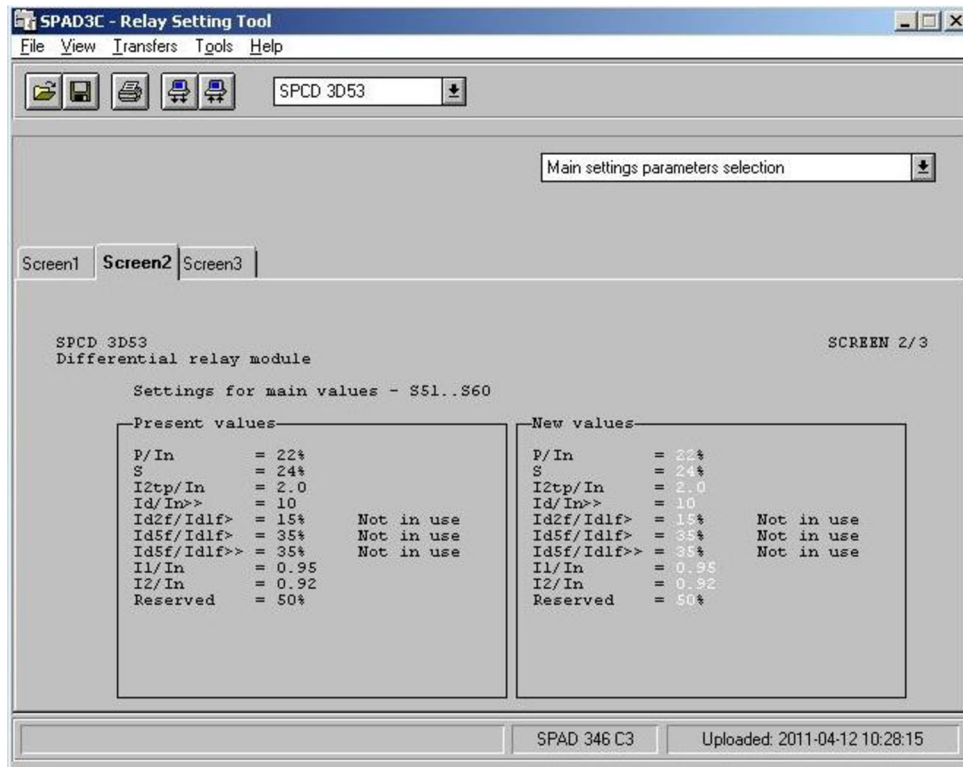
Obr.10-2 Úvodné okno programu CAP 505

Po nájdení položky „SPAD 3C“ v dialógovom okne „Project structure“ a kliknutí na túto položku sa v dialógovom okne „Object tools“ objaví položka „Relay Setting Tool“. Dvojklikom na túto položku sa otvorí okno, uvedené na Obr. 10-3.



Obr.10-3 Okno pre nastavovanie ochrany SPAD 346C v programe CAP 505

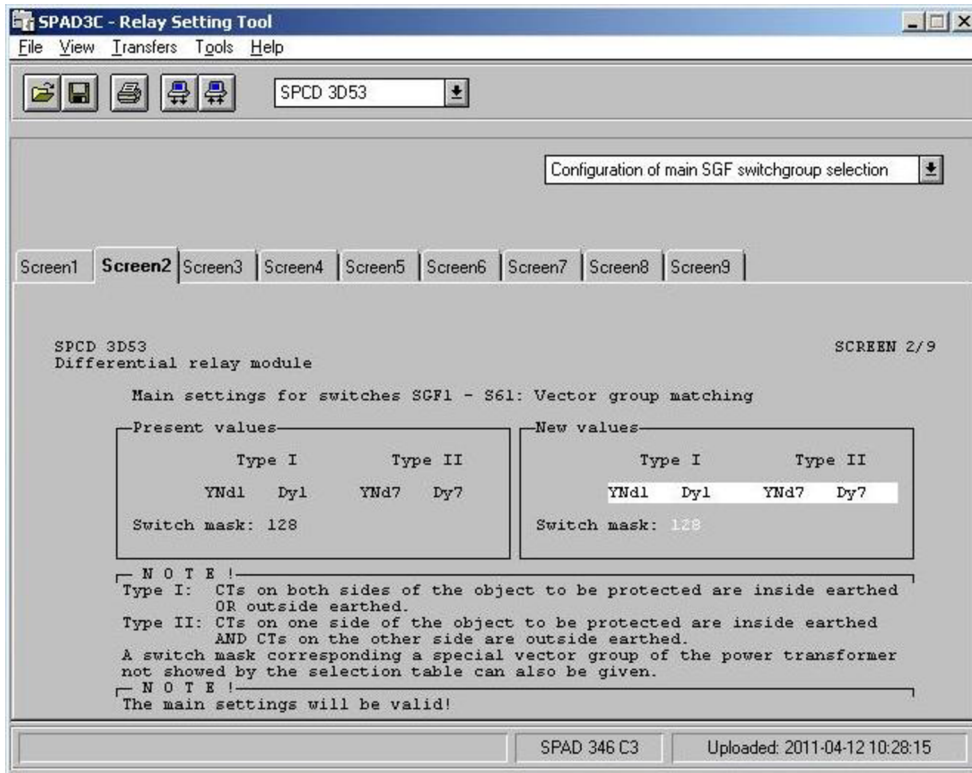
V zozname je potrebné zvoliť položku „Main settings parameters selection“ a po zobrazení tohto okna a kliknutí na záložku „Screen2“ sa zobrazí okno uvedené na Obr. 10-4, v ktorom sa nastavujú základné parametre ochrany.



Obr.10-4 Základné parametre ochrany SPAD 346C nastavené v programe CAP 505

V tomto okne je potrebné ako prvé nahráť aktuálne nastavenie ochrany do počítača. Toto sa vykoná pomocou ikony „Upload“ (ikona kde je zobrazený počítač a šípky smerujú k nemu). V rámečku „Present values“ je vidieť aktuálne nastavenie nahrané v ochrane. V rámečku „New values“ sa nastavujú požadované parametre výstupnej charakteristiky ochrany. Po kliknutí na konkrétny parameter sa nám zobrazí okno, v ktorom sa zadávajú číselné hodnoty parametra. V tomto okne program uvádza rozsah hodnôt, ktoré je možné zvoliť. Po nastavení všetkých parametrov je potrebné nahráť nastavené parametre do ochrany. Toto sa vykoná pomocou ikony „Download“ (ikona počítača so šípkami smerujúcimi od počítača). Zobrazí sa malé dialógové okno, v ktorom je potrebné zvoliť výber „for the selected group“ a kliknúť na „OK“. Nahrané parametre sa zobrazia aj v rámečku „Present values“.

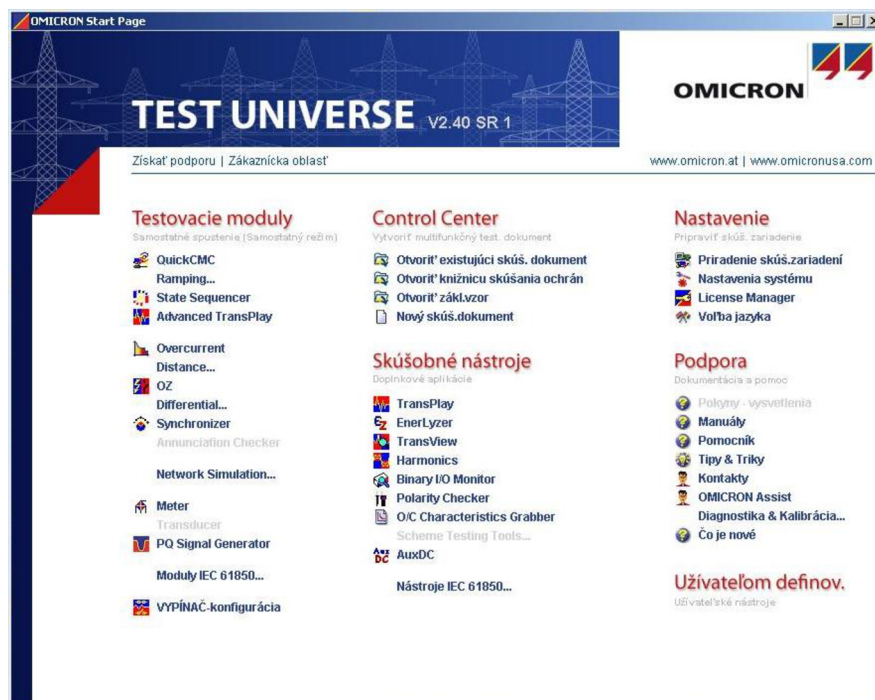
Ďalej je potrebné nastaviť prispôbenie k vektorovej skupine. Toto sa vykoná po zvolení položky „Configuration of main SGF switchgroup selection“. Na záložke „Screen2“ je vidieť aktuálne zvolenú vektorovú skupinu a nahranú do ochrany. Toto je vidieť na Obr. 10-5. V rámečku „New values“ je možné buď vložiť priamo hodnotu kontrolného súčtu vybraného z Tab. 8-1 do riadku označeného „Switch mask“ alebo zvoliť konkrétne zapojenie výkonového transformátora zo zoznamu pre typ I alebo typ II. Kliknutím na riadok vyznačený bielou farbou, v ktorom je zobrazené zapojenie výkonového transformátora sa objaví zoznam najčastejšie používaných zapojení výkonových transformátorov. Po nastavení je potrebné zvoliť ikonu „Download“ a postupovať podľa vyššie uvedeného postupu.



Obr.10-5 Nastavenie prispôsobenia vektorovej skupiny v programe CAP 505

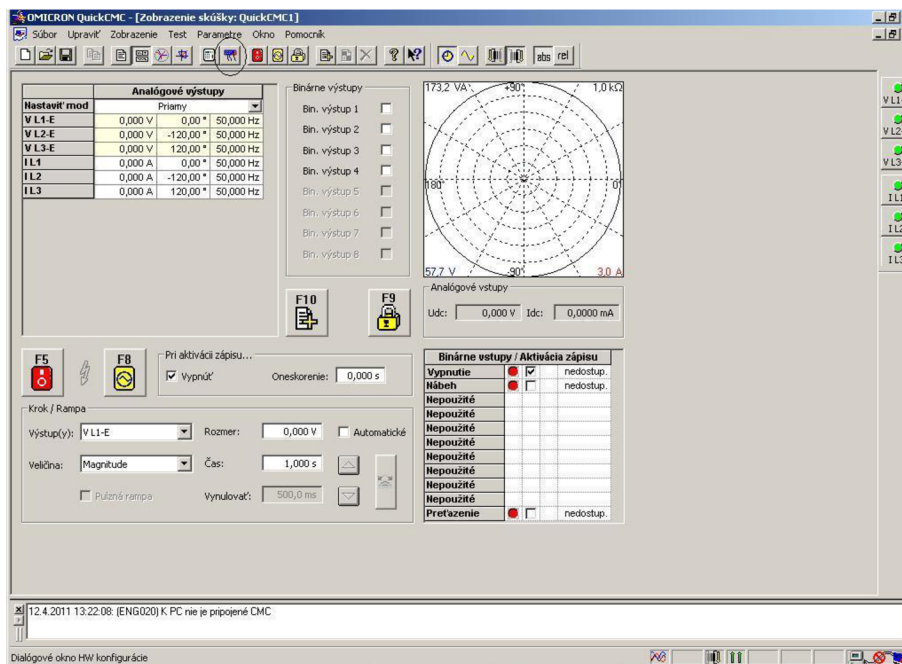
10.3 Nastavenie testovacieho zariadenia OMICRON CMC 256plus

Testovacie zariadenie sa nastavuje pomocou softvéru nainštalovaného v počítači OMICRON Test Universe (V2.40 SR 1). Po otvorení programu sa otvorí okno zobrazené na Obr. 10-6.



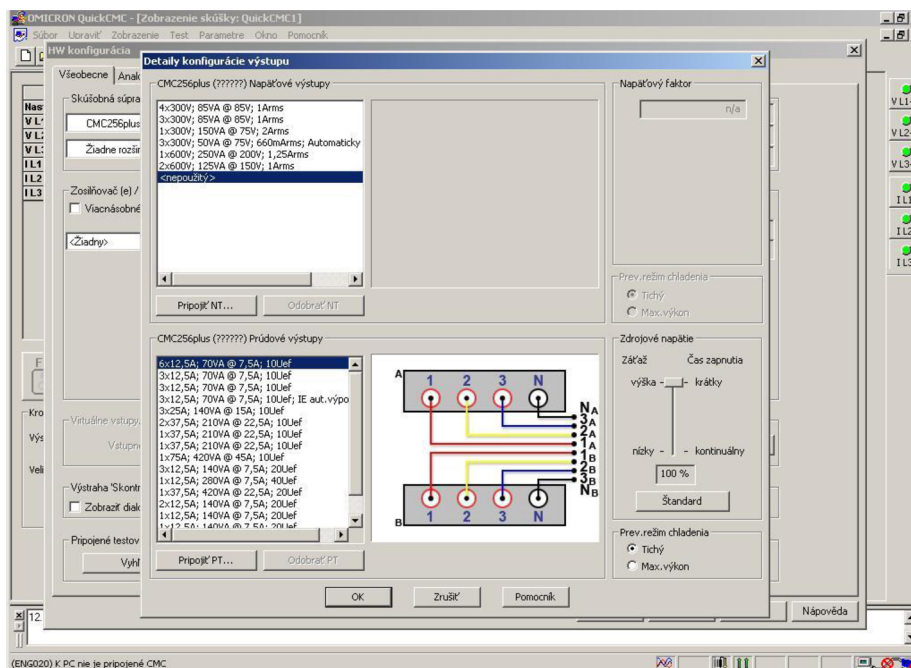
Obr.10-6 Základné okno programu OMICRON Test Universe

Zvolením testovacieho modulu QuickCMC sa zobrazí okno zobrazené na Obr. 10-7.



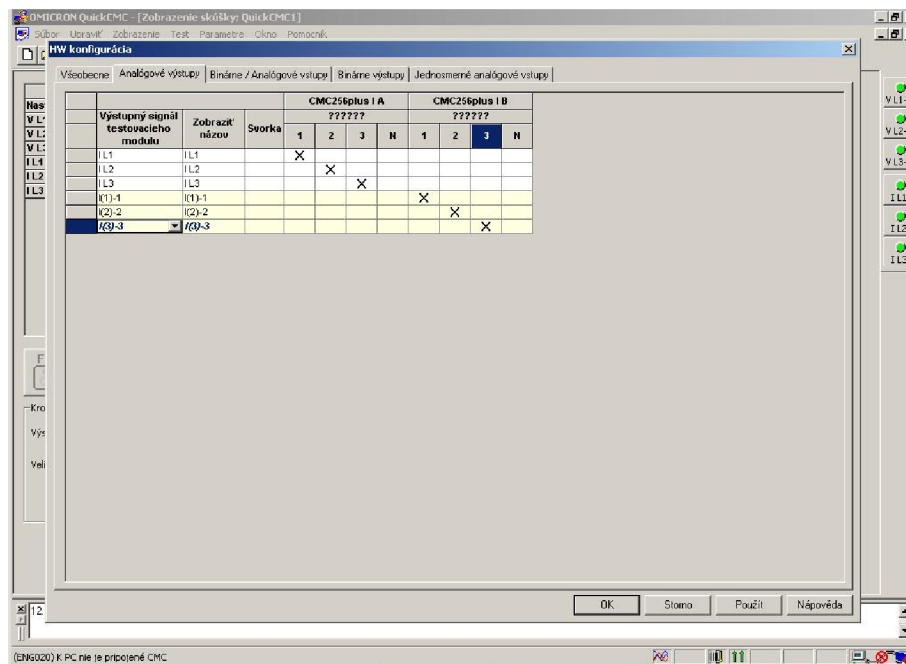
Obr.10-7 Základné okno testovacieho modulu QuickCMC

Zvolením ikony hardvérovej konfigurácie (vyznačené na Obr. 10-7) sa otvorí dialógové okno, v ktorom kliknutím na tlačidlo „Details...“ sa objaví okno zobrazené na Obr. 10-8.



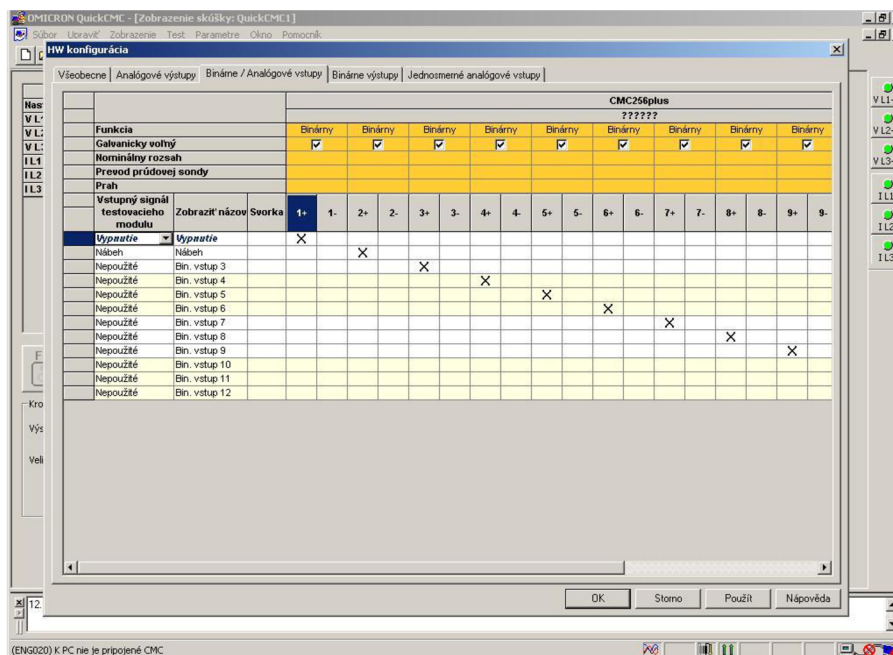
Obr.10-8 Hardvérová konfigurácia výstupu

V tomto okne sa nastavujú požadované výstupy z testovacieho zariadenia a zvolením voľby „OK“ sa zobrazí okno „HW konfigurácia“. Je potrebné zvoliť záložku analogové výstupy a nakonfigurované výstupy zvoliť ako použité a priradiť im názov ako na Obr. 10-9.



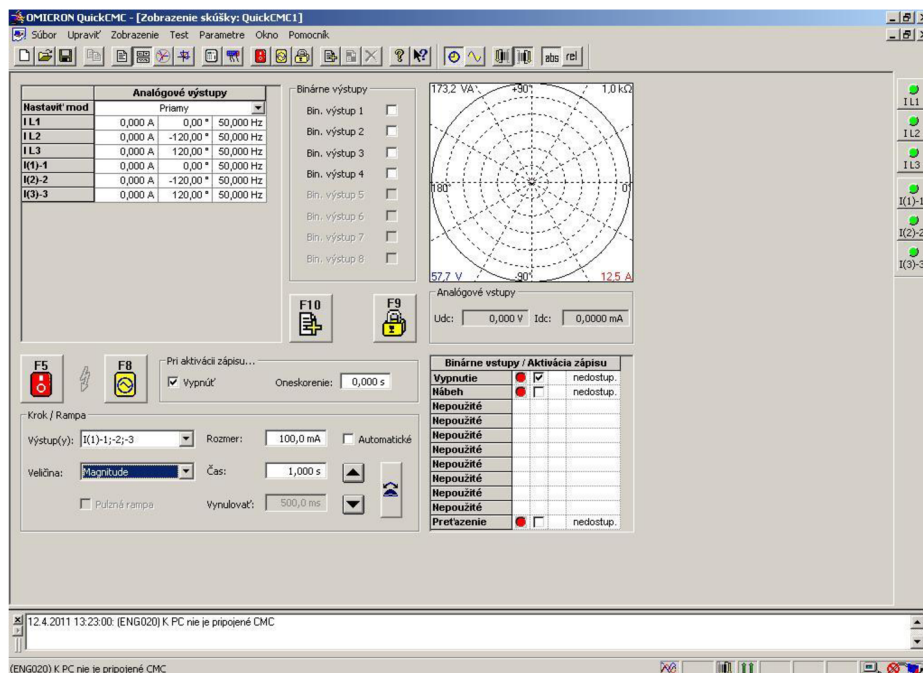
Obr.10-9 Priradenie analógových výstupov

Ďalej je potrebné zvoliť záložku „Binárne/Analógové vstupy“ a priradiť požadovanú funkciu k použitému vstupu testovacieho zariadenia podľa Obr. 10-10. Po vykonaní zvolíme voľbu „OK“.



Obr.10-10 Priradenie binárnych a analógových vstupov

V okne zobrazenom na Obr. 10-11 sa nastavujú parametre výstupných prúdov.



Obr.10-11 Okno pre nastavenie požadovaných výstupov a pre samotné spúšťanie testu

V rámečku „Analógové výstupy“ sa nastavujú počiatočné prúdy, ktoré sú posielané na prúdové výstupy čiže do ochrany. Je tam možné nastaviť amplitúdu, frekvenciu ako aj fázový posun výstupných prúdov. V rámečku „Krok/Rampa“ sa nastavujú výstupy, ktoré požadujeme meniť, v riadku „Veľičina“ sa nastavuje či sa bude meniť amplitúda alebo fázový posun. Ďalej sa v tomto rámečku v riadku „Rozmer“ nastavuje o akú hodnotu je požadovaná zmena amplitúdy a v riadku „Čas“ sa nastavuje v akom časovom intervale je požadovaná táto zmena, ktorú je možné vykonávať o jeden skok stlačením voľby, na ktorej je nakreslená šípka a to buď nahor alebo nadol, alebo automaticky zvolením voľby „Automatické“. Samotný test sa spúšťa kliknutím na červené tlačidlo „F5“ alebo stlačením klávesy F5 na klávesnici počítača. Po nabehnutí pôsobenia ochrany je testovanie zastavené a výsledok testu je možné uložiť do protokolu pomocou tlačidla pridania do protokolu, ktoré je umiestnené vrchnej časti okna QuickCMC štrnásté zľava.

11 MERANIE VYPÍNACEJ CHARAKTERISTIKY SPAD 346C

11.1 Základné parametre testovania

Samotné meranie bolo simulované pre tri konkrétne výkonové transformátory. Dva z týchto transformátorov boli dvojvinuťové (Transformátor 1, Transformátor 2) a jeden bol trojvinuťový (Transformátor 3). Meranie bolo uskutočňované pre tri rôzne situácie kedy sa mení prúd v jednej fáze, v dvoch fázach a v troch fázach. Parametre skutočných výkonových transformátorov sú uvedené v Tab. 11-1. Nastavenie vypínacích charakteristík je uvedené v Tab. 11-2.

Tab. 11-1 Parametre skutočných výkonových transformátorov

Označenie transformátora	Transformátor 1	Transformátor 2	Transformátor 3
Skupina zapojenia	YNd1	Dd0	YNyn0/d
Zdanlivý výkon primárneho vinutia	$S_1 = 169 \text{ MVA}$	$S_1 = 33 \text{ MVA}$	$S_1 = 30 \text{ MVA}$
Zdanlivý výkon sekundárneho vinutia	$S_2 = 169 \text{ MVA}$	$S_2 = 33 \text{ MVA}$	$S_2 = 30 \text{ MVA}$
Zdanlivý výkon terciálneho vinutia	-	-	$S_3 = 10 \text{ MVA}$
Napätie primárneho vinutia	$U_1 = 121 \text{ kV}$	$U_1 = 15,75 \text{ kV}$	$U_1 = 110 \text{ kV}$
Napätie sekundárneho vinutia	$U_2 = 15,75 \text{ kV}$	$U_2 = 6,3 \text{ kV}$	$U_2 = 35 \text{ kV}$
Napätie terciálneho vinutia	-	-	$U_3 = 6,3 \text{ kV}$
Prúd primárneho vinutia	$I_1 = 806 \text{ A}$	$I_1 = 1210 \text{ A}$	$I_1 = 157 \text{ A}$
Prúd sekundárneho vinutia	$I_2 = 6195 \text{ A}$	$I_2 = 3024 \text{ A}$	$I_2 = 495 \text{ A}$
Prúd terciálneho vinutia	-	-	$I_3 = 916 \text{ A}$
Odbočky	$\pm 2 \times 2,5\%$	$\pm 2 \times 2,5\%$	$\pm 8 \times 2\%$
Prevod prístrojového transformátora primárneho vinutia	1000/1	1500/1	250/1
Prevod prístrojového transformátora sekundárneho vinutia	6500/1	3500/1	600/1
Prevod prístrojového transformátora terciálneho vinutia	-	-	1000/1
Presnosť prístrojových transformátorov	5P	10P	5P

Tab. 11-2 Nastavenie vypinacích charakteristik

Transformátor 1	Transformátor 2	Transformátor 3
$S = 24 \%$	$S = 34 \%$	$S = 42 \%$
$P/I_n = 22 \%$	$P/I_n = 27 \%$	$P/I_n = 31 \%$
$I_{2tp}/I_n = 2$	$I_{2tp}/I_n = 1,5$	$I_{2tp}/I_n = 2$

Príklad výpočtu hodnoty S pre Transformátor 1:

$S = (\text{presnosť prístrojových transformátorov}) + (\text{odbočky}) + (\text{chyba prispôsobenia}) + (\text{záloha})$

$S = (5 \% + 5 \%) + (2 \times 2,5 \%) + (2 \times 2 \%) + (5 \%) = 24 \%$

Príklad výpočtu hodnoty P/I_n pre transformátor 1:

$P/I_n = I_b/I_n \times S + (\text{straty naprázdno pri maximálnom napätí}) = 0,5 \times 24 \% + 10 \% = 22 \%$

11.2 Namerané hodnoty

Každá charakteristika bolo zmeraná so strmost'ou 1 mA / 0,1 s. Namerané hodnoty pre Transformátor 1 v prípade ak boli menené prúdy vo všetkých troch fázach sú uvedené v Tab. 11-3. A v nej I_1 je prúd na vstupe chráneného Transformátora 1, I_2 je prúd na výstupe chráneného Transformátora 1, I_{1nast} je prúd nastavovaný na testovacom zariadení daný pomerom podľa rovnice (11.1), I_{2nast} je prúd nastavovaný na testovacom zariadení daný pomerom podľa rovnice (11.1), I_{2vyp} je prúd, pri ktorom ochrana zareagovala. I_b je vypočítaný blokovací prúd z rovnice (8.2) a I_d je vypočítaný diferenciálny prúd z rovnice (8.1) a t je reakčná doba ochrany. Ostatné namerané hodnoty sú uvedené v prílohe.

Tab. 11-3 Namerané hodnoty pre Transformátor 1 pri zmene prúdov v troch fázach

I_1 [A]	I_2 [A]	I_{1nast} [A]	I_{2nast} [A]	I_{2vyp} [A]	I_b [A]	I_d [A]	t [ms]
0	0	0,000	0,000	0,210	0,111	0,221	30,7
0,1	0,1	0,081	0,095	0,303	0,209	0,219	31,5
0,2	0,2	0,162	0,190	0,397	0,309	0,218	30,7
0,3	0,3	0,243	0,285	0,490	0,408	0,216	31,2
0,4	0,4	0,324	0,380	0,588	0,509	0,219	30,7
0,5	0,5	0,405	0,475	0,706	0,622	0,243	31,1
0,6	0,6	0,486	0,570	0,828	0,736	0,272	31,5
0,7	0,7	0,567	0,665	0,948	0,849	0,298	30,9
0,8	0,8	0,648	0,760	1,068	0,962	0,324	31,2
0,9	0,9	0,729	0,855	1,188	1,075	0,351	30,7
1	1	0,810	0,950	1,308	1,188	0,377	30,7
1,1	1,1	0,891	1,045	1,428	1,302	0,403	30,9
1,2	1,2	0,972	1,140	1,550	1,416	0,432	31,5
1,3	1,3	1,053	1,235	1,667	1,527	0,455	30,8
1,4	1,4	1,134	1,330	1,789	1,642	0,483	31,8
1,5	1,5	1,215	1,425	1,909	1,755	0,509	32,0
1,6	1,6	1,296	1,520	2,029	1,868	0,536	31,5
1,7	1,7	1,377	1,615	2,148	1,981	0,561	30,7
1,8	1,8	1,458	1,710	2,409	2,168	0,736	30,5
1,9	1,9	1,539	1,805	2,696	2,369	0,938	31,1
2	2	1,620	1,900	2,978	2,567	1,135	31,4
2,1	2,1	1,701	1,995	3,258	2,765	1,329	30,8
2,2	2,2	1,782	2,090	3,544	2,965	1,531	30,5
2,3	2,3	1,863	2,185	3,826	3,164	1,727	31,5
2,4	2,4	1,944	2,280	4,110	3,363	1,926	30,9

11.2.1 Výpočet prúdu I_{1nast} a I_{2nast}

Prúdy I_{1nast} a I_{2nast} sú prúdy nastavované na testovacom zariadení a sú dané korekciou transformačného pomeru a požadovaným sekundárnym prúdom prístrojového transformátora. Korekcia transformačného pomeru je počítaná z menovitých prúdov testovaného transformátora (I_{1n}, I_{2n}) a menovitých primárných prúdov prístrojového transformátora (I_n) podľa rovníc (11.2) a (11.3).

$$I_{1nast} = \frac{I_{1n}}{I_n} \cdot I_1 \quad (11.1)$$

Korekcia transformačného pomeru Transformátora 1 pre primárnu stranu:

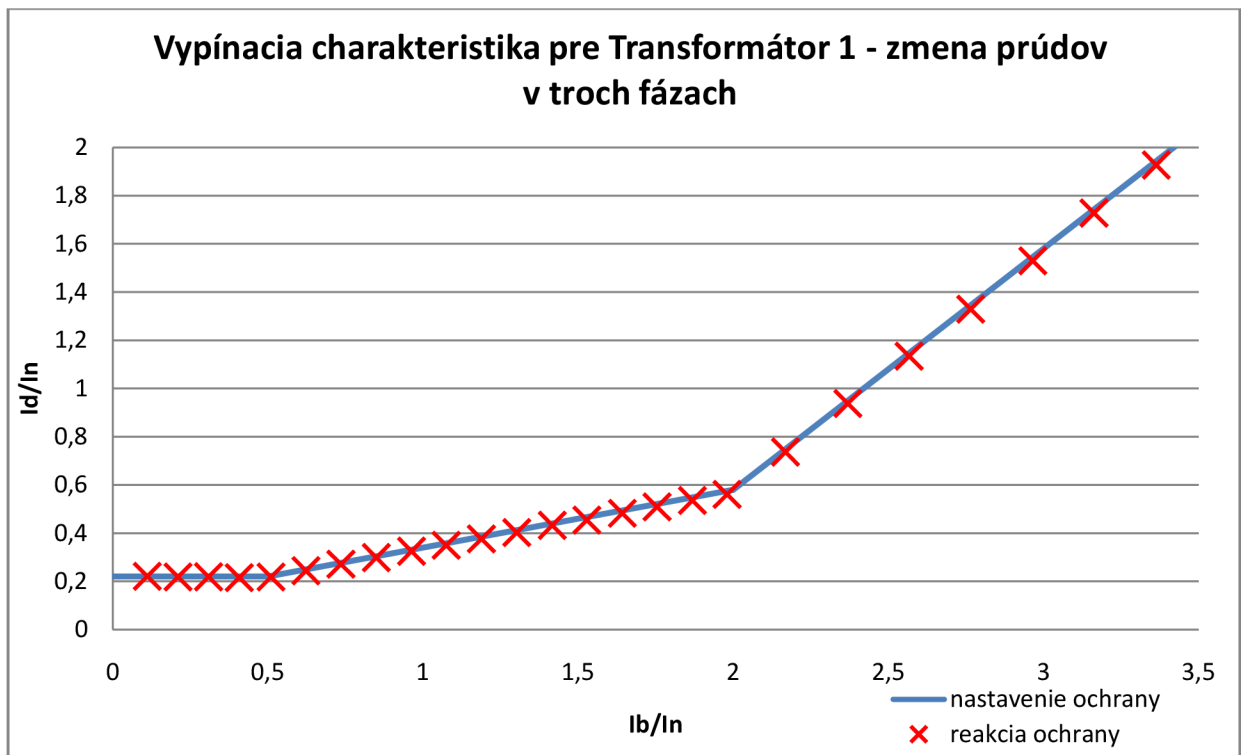
$$\frac{I_{1n}}{I_n} = \frac{806}{1000} = 0,806 \quad (11.2)$$

Korekcia transformačného pomeru Transformátora 1 pre sekundárnu stranu:

$$\frac{I_{2n}}{I_n} = \frac{6195}{6500} = 0,95 \quad (11.3)$$

11.3 Vypínacia charakteristika

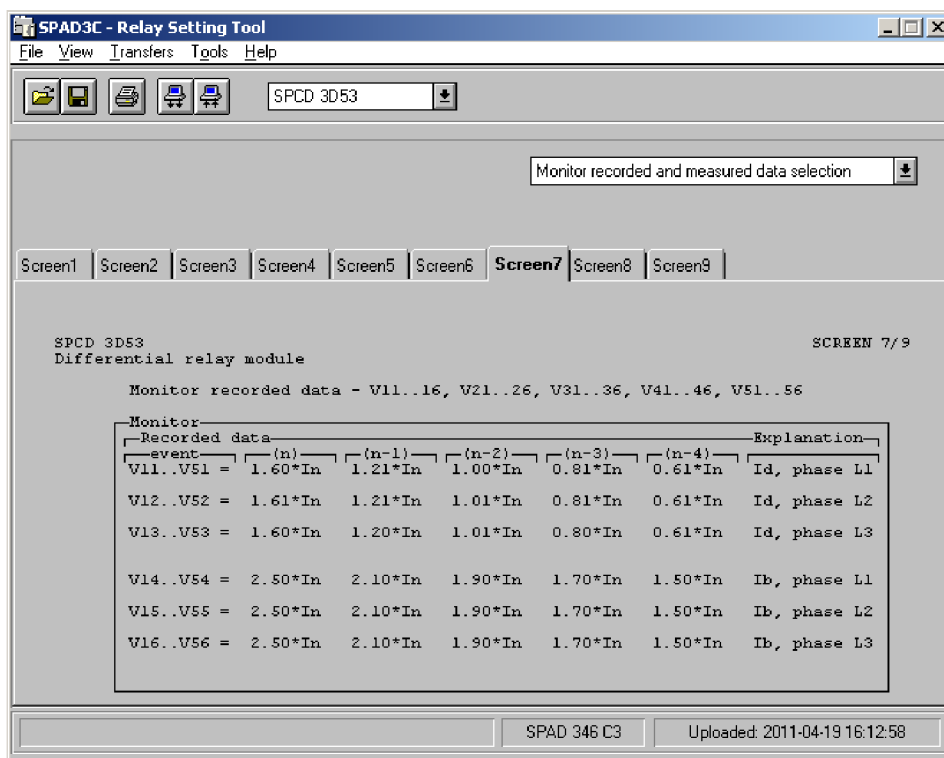
Na Obr. 11-1 je uvedená vypínacia charakteristika pre Transformátor 1 pri zmene prúdu vo všetkých troch fázach. Ostatné vypínacie charakteristiky sú uvedené v prílohe.



Obr.11-1 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 1 - zmena prúdov v troch fázach

11.4 Zhodnotenie merania

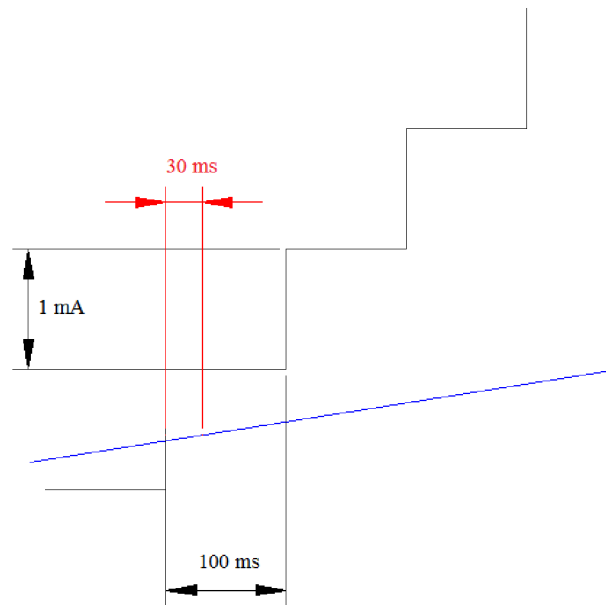
Reakčná doba ochrany bolo zmeraná testovacím zariadením. Z nameraných hodnôt prúdu, pri ktorom ochrana reagovala, boli dopočítané stabilizačné a diferenciálne prúdy, ktorých správnosť je možné si overiť aj priamo v programe CAP 505, pomocou ktorého bola nastavovaná ochrana. Okno, ktoré ukazuje Obr.11-2, sa dá zobraziť v programe CAP 505 zvolením položky „Monitor recorded and measured data selection“ a záložky „Screen7“. Po zobrazení je potrebné nahráť aktuálne dáta z ochrany. Toto sa vykoná pomocou ikony „Upload“ (ikona kde je zobrazený počítač a šípky smerujú k nemu). Po dokončení nahrávania dát z ochrany sa zobrazí posledných päť meraní, pri ktorých ochrana reagovala.



Obr.11-2 Hodnoty diferenciálneho a stabilizačného prúdu ochrany

Pre rôzne prípady, kedy sa mení prúd v jednej, v dvoch alebo v troch fázach, sa vypínacie charakteristiky takmer nelíšia čo dokazuje, že diferenciálna ochrana SPAD 346 C dokáže spoľahlivo chrániť transformátor pri všetkých možných poruchách kedy dochádza k zmene veľkosti prúdov v jednotlivých fázach výkonového transformátora.

Detail skúšky typu Trend so strmosťou 1 mA / 100 ms je zobrazený na Obr. 11-3. Kde modrou čiarou je naznačená nastavená vypínacia charakteristika ochrany. Červenou kótou je označená reakčná doba ochrany a čiernymi kótami je vyznačená strmosť skúšky. Z tohto detailného obrázku je vidieť, že pri strmosť skúšky 1 mA / 100 ms ochrany stačí zareagovať skôr ako dôjde k ďalšej zmene prúdu.



Obr.11-3 Skúška typu Trend

Z nameraných hodnôt a vypočítaných hodnôt diferenciálneho a stabilizačného prúdu bola zistená meraná vypínacia charakteristika, z ktorej je zrejmé, že pri strmosti skúšky 1 mA/0,1s je ochrana presná vo všetkých troch častiach charakteristiky. Rozdiely, ktoré sú medzi presným nastavením charakteristiky a nameranými resp. vypočítanými hodnotami, sú len minimálne.

12 ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo teoreticky popísať princíp transformátora a jeho chránenia. Následne bolo vykonané meranie konkrétnej ochrany transformátora. Pre chránenie transformátorov sú používané rôzne ochrany pre rôzne druhy porúch. Základné ochrany používané pre chránenie transformátora sú plynové relé, nádobová a rozdielová ochrana. Ďalej poznáme ďalšie ochrany používané pre chránenie transformátorov ako ochrana pri preťažení, porovnávacia ochrana, prúdová skratová ochrana a iné.

Rozdielová ochrana pracuje na princípe porovnávania dvoch prúdov. Ak rozdiel prúdov je nulový ochrana nereaguje. Ak rozdiel prúdov je nenulový ochrana reaguje podľa svojej nastavenej vypínacej charakteristiky. Prúdy sú do rozdielovej ochrany privádzané cez istiace prístrojové transformátory prúdu, ktoré transformujú skutočné prúdy tečúce cez výkonový transformátor, na normalizované hodnoty. Istiace prístrojové transformátory môžu byť k ochrane pripojené z dvoch objektov pracujúcich paralelne ako je to pri priečnej rozdielovej ochrane ale častejšie použitie rozdielovej ochrany je také, pri ktorom sú istiace prístrojové transformátory pripojené na začiatku a na konci chráneného objektu ako je to aj pri rozdielovej ochrane transformátorov. Takýto typ ochrana je nazývaný pozdĺžna rozdielová ochrana.

Pre meranie bola zvolená diferenciálna ochrana SPAD 346 C od firmy ABB. Táto ochrana sa skladá z troch základných modulov. Pre meranie bol najpodstatnejší modul SPCD 3D53, v ktorom je integrovaný stabilizovaný prúdový diferenciálny stupeň $3\Delta I$. Prúdový diferenciálny stupeň reaguje na vypínicu charakteristiku, ktorá sa skladá z troch častí.

Testovanie bolo uskutočňované testovacím zariadením OMICRON 256 plus, v ktorom je možné nadefinovať požadované prúdové výstupy pripojené do ochrany tak, aby bol nasimulovaný skutočný výkonový transformátor. Testovacie zariadenie ako aj diferenciálna ochrana sa nastavovali pomocou počítača. Testovacie zariadenie používa skúšku typu Trend kedy sa v nadefinovanom čase zmenia požadované výstupy o požadovanú hodnotu.

Samotné meranie bolo uskutočňované pre parametre troch reálnych výkonových transformátorov. Výsledky merania boli graficky porovnané s nastavenou vypínacou charakteristikou. Pre meranie bola zvolená strmosť nárastu prúdu $1 \text{ mA} / 0,1\text{s}$. Týmto sa dosiahla presnosť merania pretože reakčná doba ochrany bola kratšia ako nárast trendovej skúšky. Pri zvolení väčšej strmosti skúšky by sa dosiahla chyba merania.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] ABB UTILITIES. Differential protection SPAD 346 C3. ABB Utilities. Vaasa 2005
- [2] ABB UTILITIES. SPAD 346 C Stabilized Differential Relay. ABB Utilities. Vaasa 2002
- [3] ABB UTILITIES. SPCD 3D53 Modul diferenciálnej ochrany. ABB Utilities. Trutnov 2001
- [4] ČSN 33 3051: 1992. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení
- [5] DOHNÁLEK, P. Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL – nakladatelství technické literatury. Praha 1991
- [6] HALUZÍK, E. Ochrany a automatiky v elektrických sítích. Skriptum edičné středisko VUT Brno. Brno 1986
- [7] OMICRON ELECTRONICS. CMC 256 Hardware. Omicron electronics. Klaus 2004
- [8] OMICRON ELECTRONICS. Protection Package. Omicron electronics. Klaus 2004
- [9] PETROV, G.N. Elektrické stroje 1. Academia. Praha 1980

PRÍLOHA A - NAMERANÉ HODNOTY

Tab. A-1 Namerané hodnoty pre Transformátor 1 pri zmene prúdov v dvoch fázach

I_1 [A]	I_2 [A]	I_{1nast} [A]	I_{2nast} [A]	I_{2vyp} [A]	I_b [A]	I_d [A]	t [ms]
0	0	0,000	0,000	0,210	0,111	0,221	31,1
0,1	0,1	0,081	0,095	0,304	0,210	0,220	30,7
0,2	0,2	0,162	0,190	0,399	0,310	0,220	30,5
0,3	0,3	0,243	0,285	0,493	0,409	0,219	31,8
0,4	0,4	0,324	0,380	0,588	0,509	0,219	31,2
0,5	0,5	0,405	0,475	0,708	0,623	0,245	30,7
0,6	0,6	0,486	0,570	0,830	0,737	0,274	30,4
0,7	0,7	0,567	0,665	0,950	0,850	0,300	31,1
0,8	0,8	0,648	0,760	1,070	0,963	0,326	31,6
0,9	0,9	0,729	0,855	1,192	1,077	0,355	30,8
1	1	0,810	0,950	1,316	1,193	0,385	30,5
1,1	1,1	0,891	1,045	1,433	1,304	0,408	30,7
1,2	1,2	0,972	1,140	1,552	1,417	0,434	31,6
1,3	1,3	1,053	1,235	1,672	1,530	0,460	32,0
1,4	1,4	1,134	1,330	1,793	1,644	0,487	31,4
1,5	1,5	1,215	1,425	1,914	1,757	0,515	31,1
1,6	1,6	1,296	1,520	2,035	1,871	0,542	30,8
1,7	1,7	1,377	1,615	2,156	1,985	0,569	31,7
1,8	1,8	1,458	1,710	2,419	2,173	0,746	30,4
1,9	1,9	1,539	1,805	2,703	2,373	0,945	30,9
2	2	1,620	1,900	2,988	2,573	1,145	31,7
2,1	2,1	1,701	1,995	3,270	2,771	1,342	30,6
2,2	2,2	1,782	2,090	3,555	2,971	1,542	30,7
2,3	2,3	1,863	2,185	3,826	3,164	1,727	31,4
2,4	2,4	1,944	2,280	4,123	3,370	1,940	31,2

Tab. A-2 Namerané hodnoty pre Transformátor 1 pri zmene prúdu v jednej fáze

I_1 [A]	I_2 [A]	I_{1nast} [A]	I_{2nast} [A]	I_{2vyp} [A]	I_b [A]	I_d [A]	t [ms]
0	0	0,000	0,000	0,210	0,111	0,221	30,6
0,1	0,1	0,081	0,095	0,304	0,210	0,220	30,4
0,2	0,2	0,162	0,190	0,399	0,310	0,220	31,8
0,3	0,3	0,243	0,285	0,493	0,409	0,219	31,2
0,4	0,4	0,324	0,380	0,590	0,511	0,221	31,4
0,5	0,5	0,405	0,475	0,711	0,624	0,248	30,7
0,6	0,6	0,486	0,570	0,831	0,737	0,275	30,7
0,7	0,7	0,567	0,665	0,953	0,852	0,303	30,8
0,8	0,8	0,648	0,760	1,075	0,966	0,332	30,9
0,9	0,9	0,729	0,855	1,195	1,079	0,358	31,7
1	1	0,810	0,950	1,316	1,193	0,385	31,5
1,1	1,1	0,891	1,045	1,436	1,306	0,412	31,4
1,2	1,2	0,972	1,140	1,557	1,419	0,439	30,7
1,3	1,3	1,053	1,235	1,678	1,533	0,466	30,7
1,4	1,4	1,134	1,330	1,798	1,646	0,493	31,9
1,5	1,5	1,215	1,425	1,920	1,761	0,521	30,8
1,6	1,6	1,296	1,520	2,039	1,873	0,546	31,1

1,7	1,7	1,377	1,615	2,161	1,987	0,575	31,6
1,8	1,8	1,458	1,710	2,429	2,178	0,757	30,7
1,9	1,9	1,539	1,805	2,712	2,377	0,955	30,8
2	2	1,620	1,900	3,000	2,579	1,158	30,2
2,1	2,1	1,701	1,995	3,276	2,774	1,348	31,7
2,2	2,2	1,782	2,090	3,564	2,976	1,552	31,5
2,3	2,3	1,863	2,185	3,846	3,174	1,748	31,2
2,4	2,4	1,944	2,280	4,132	3,375	1,949	30,7

Tab. A-3 Namerané hodnoty pre Transformátor 2 pri zmene prúdov v troch fázach

I_1 [A]	I_2 [A]	I_{1nast} [A]	I_{2nast} [A]	I_{2vyp} [A]	I_b [A]	I_d [A]	t [ms]
0	0	0,000	0,000	0,233	0,135	0,271	32,3
0,1	0,1	0,081	0,086	0,318	0,235	0,270	31,7
0,2	0,2	0,162	0,172	0,404	0,335	0,270	30,7
0,3	0,3	0,243	0,258	0,504	0,443	0,286	29,7
0,4	0,4	0,324	0,344	0,600	0,549	0,298	31,2
0,5	0,5	0,405	0,430	0,703	0,659	0,317	30,8
0,6	0,6	0,486	0,516	0,826	0,780	0,360	30,7
0,7	0,7	0,567	0,602	0,947	0,901	0,401	32,0
0,8	0,8	0,648	0,688	1,068	1,021	0,442	29,9
0,9	0,9	0,729	0,774	1,189	1,141	0,483	32,3
1	1	0,810	0,860	1,310	1,262	0,523	31,2
1,1	1,1	0,891	0,946	1,430	1,381	0,563	31,5
1,2	1,2	0,972	1,032	1,551	1,502	0,603	30,7
1,3	1,3	1,053	1,118	1,808	1,701	0,802	31,4
1,4	1,4	1,134	1,204	2,063	1,899	0,999	29,9
1,5	1,5	1,215	1,290	2,321	2,099	1,199	29,4
1,6	1,6	1,296	1,376	2,579	2,299	1,399	29,7

Tab. A-4 Namerané hodnoty pre Transformátor 2 pri zmene prúdov v dvoch fázach

I_1 [A]	I_2 [A]	I_{1nast} [A]	I_{2nast} [A]	I_{2vyp} [A]	I_b [A]	I_d [A]	t [ms]
0	0	0,000	0,000	0,235	0,137	0,273	29,8
0,1	0,1	0,081	0,086	0,317	0,234	0,269	29,7
0,2	0,2	0,162	0,172	0,406	0,336	0,272	30,7
0,3	0,3	0,243	0,258	0,502	0,442	0,284	30,8
0,4	0,4	0,324	0,344	0,600	0,549	0,298	31,2
0,5	0,5	0,405	0,430	0,702	0,658	0,316	31,4
0,6	0,6	0,486	0,516	0,825	0,780	0,359	30,7
0,7	0,7	0,567	0,602	0,947	0,901	0,401	30,5
0,8	0,8	0,648	0,688	1,067	1,020	0,441	30,6
0,9	0,9	0,729	0,774	1,187	1,140	0,480	30,9
1	1	0,810	0,860	1,312	1,263	0,526	29,8
1,1	1,1	0,891	0,946	1,430	1,381	0,563	31,7
1,2	1,2	0,972	1,032	1,551	1,502	0,603	30,5
1,3	1,3	1,053	1,118	1,808	1,701	0,802	29,7
1,4	1,4	1,134	1,204	2,064	1,900	1,000	29,9
1,5	1,5	1,215	1,290	2,320	2,099	1,198	30,1
1,6	1,6	1,296	1,376	2,577	2,298	1,397	31,4

Tab. A-5 Namerané hodnoty pre Transformátor 2 pri zmene prúdu v jednej fáze

I_1 [A]	I_2 [A]	I_{1nast} [A]	I_{2nast} [A]	I_{2vyp} [A]	I_b [A]	I_d [A]	t [ms]
0	0	0,000	0,000	0,234	0,136	0,272	30,7
0,1	0,1	0,081	0,086	0,318	0,235	0,270	30,8
0,2	0,2	0,162	0,172	0,407	0,337	0,273	31,2
0,3	0,3	0,243	0,258	0,503	0,442	0,285	31,6
0,4	0,4	0,324	0,344	0,602	0,550	0,300	29,8
0,5	0,5	0,405	0,430	0,700	0,657	0,314	29,9
0,6	0,6	0,486	0,516	0,824	0,779	0,358	31,4
0,7	0,7	0,567	0,602	0,948	0,901	0,402	30,7
0,8	0,8	0,648	0,688	1,067	1,020	0,441	30,9
0,9	0,9	0,729	0,774	1,187	1,140	0,480	31,2
1	1	0,810	0,860	1,313	1,263	0,527	29,8
1,1	1,1	0,891	0,946	1,430	1,381	0,563	29,8
1,2	1,2	0,972	1,032	1,552	1,502	0,605	31,2
1,3	1,3	1,053	1,118	1,807	1,701	0,801	30,7
1,4	1,4	1,134	1,204	2,065	1,901	1,001	30,4
1,5	1,5	1,215	1,290	2,320	2,099	1,198	31,2
1,6	1,6	1,296	1,376	2,589	2,305	1,410	30,6

Tab. A-6 Namerané hodnoty pre Transformátor 3 pri zmene prúdov v troch fázach

I_1 [A]	I_2 [A]	I_{1nast} [A]	I_{2nast} [A]	I_{2vyp} [A]	I_b [A]	I_d [A]	t [ms]
0	0	0,000	0,000	0,183	0,155	0,310	30,7
0,1	0,1	0,047	0,059	0,241	0,254	0,308	30,8
0,2	0,2	0,094	0,118	0,299	0,353	0,307	30,7
0,3	0,3	0,141	0,177	0,358	0,453	0,307	29,7
0,4	0,4	0,188	0,236	0,433	0,567	0,334	31,2
0,5	0,5	0,235	0,295	0,523	0,693	0,386	29,9
0,6	0,6	0,282	0,354	0,613	0,819	0,439	31,4
0,7	0,7	0,329	0,413	0,702	0,945	0,490	30,2
0,8	0,8	0,376	0,472	0,791	1,070	0,541	30,7
0,9	0,9	0,423	0,531	0,882	1,197	0,595	31,5
1	1	0,470	0,590	0,973	1,325	0,649	30,7
1,1	1,1	0,517	0,649	1,063	1,451	0,702	29,8
1,2	1,2	0,564	0,708	1,153	1,577	0,754	31,1
1,3	1,3	0,611	0,767	1,244	1,704	0,808	30,5
1,4	1,4	0,658	0,826	1,334	1,831	0,861	30,9
1,5	1,5	0,705	0,885	1,424	1,957	0,914	31,5
1,6	1,6	0,752	0,944	1,570	2,131	1,061	30,7
1,7	1,7	0,799	1,003	1,745	2,329	1,258	29,8
1,8	1,8	0,846	1,062	1,970	2,569	1,539	31,7
1,9	1,9	0,893	1,121	2,097	2,727	1,654	31,4

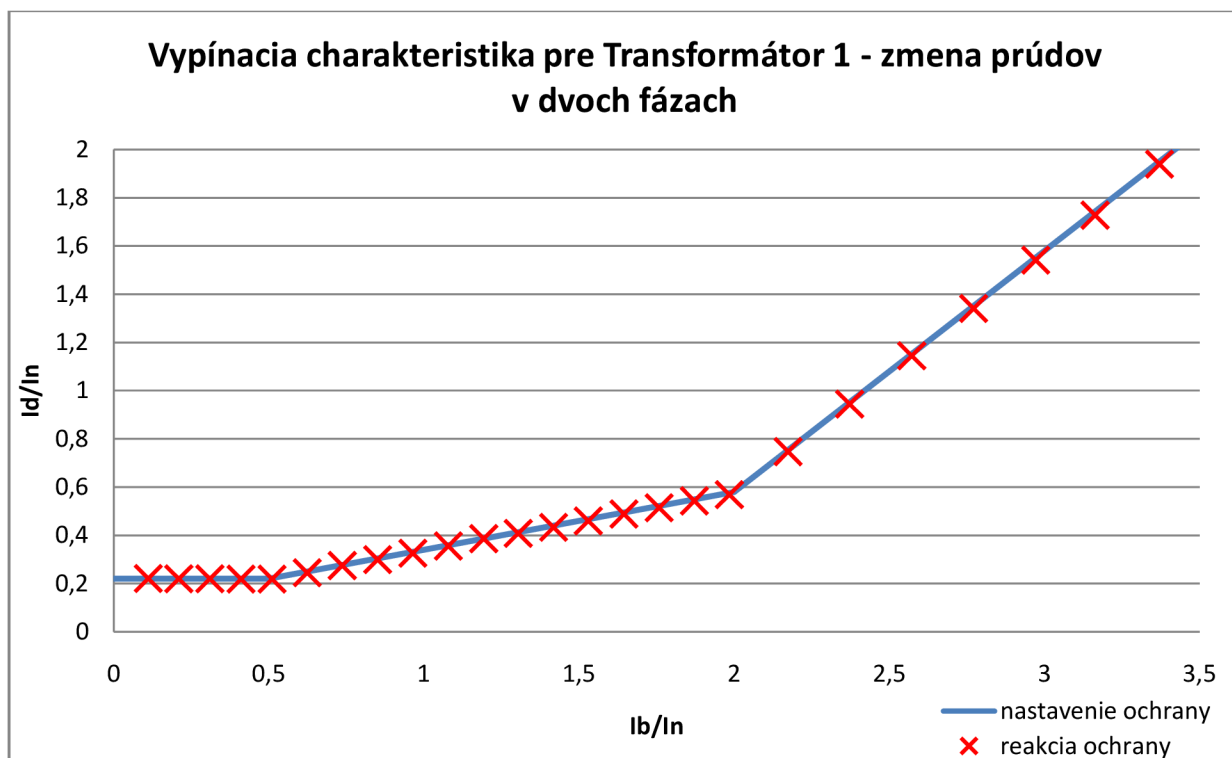
Tab. A-7 Namerané hodnoty pre Transformátor 3 pri zmene prúdov v dvoch fázach

I_1 [A]	I_2 [A]	I_{1nast} [A]	I_{2nast} [A]	I_{2vyp} [A]	I_b [A]	I_d [A]	t [ms]
0	0	0,000	0,000	0,185	0,157	0,314	31,5
0,1	0,1	0,047	0,059	0,243	0,256	0,312	31,4
0,2	0,2	0,094	0,118	0,301	0,355	0,310	31,9
0,3	0,3	0,141	0,177	0,354	0,450	0,300	30,5
0,4	0,4	0,188	0,236	0,435	0,569	0,337	30,7
0,5	0,5	0,235	0,295	0,520	0,691	0,381	32,1
0,6	0,6	0,282	0,354	0,615	0,821	0,442	30,8
0,7	0,7	0,329	0,413	0,704	0,947	0,493	29,5
0,8	0,8	0,376	0,472	0,800	1,078	0,556	29,8
0,9	0,9	0,423	0,531	0,884	1,199	0,598	31,7
1	1	0,470	0,590	0,980	1,331	0,661	30,6
1,1	1,1	0,517	0,649	1,065	1,453	0,705	330,8
1,2	1,2	0,564	0,708	1,155	1,579	0,758	30,9
1,3	1,3	0,611	0,767	1,247	1,707	0,814	31,5
1,4	1,4	0,658	0,826	1,336	1,832	0,864	31,2
1,5	1,5	0,705	0,885	1,426	1,958	0,917	29,6
1,6	1,6	0,752	0,944	1,575	2,135	1,069	31,8
1,7	1,7	0,799	1,003	1,747	2,331	1,261	31,7
1,8	1,8	0,846	1,062	1,942	2,546	1,492	30,7
1,9	1,9	0,893	1,121	2,099	2,729	1,658	29,7
2	2	0,940	1,180	2,270	2,924	1,847	31,2

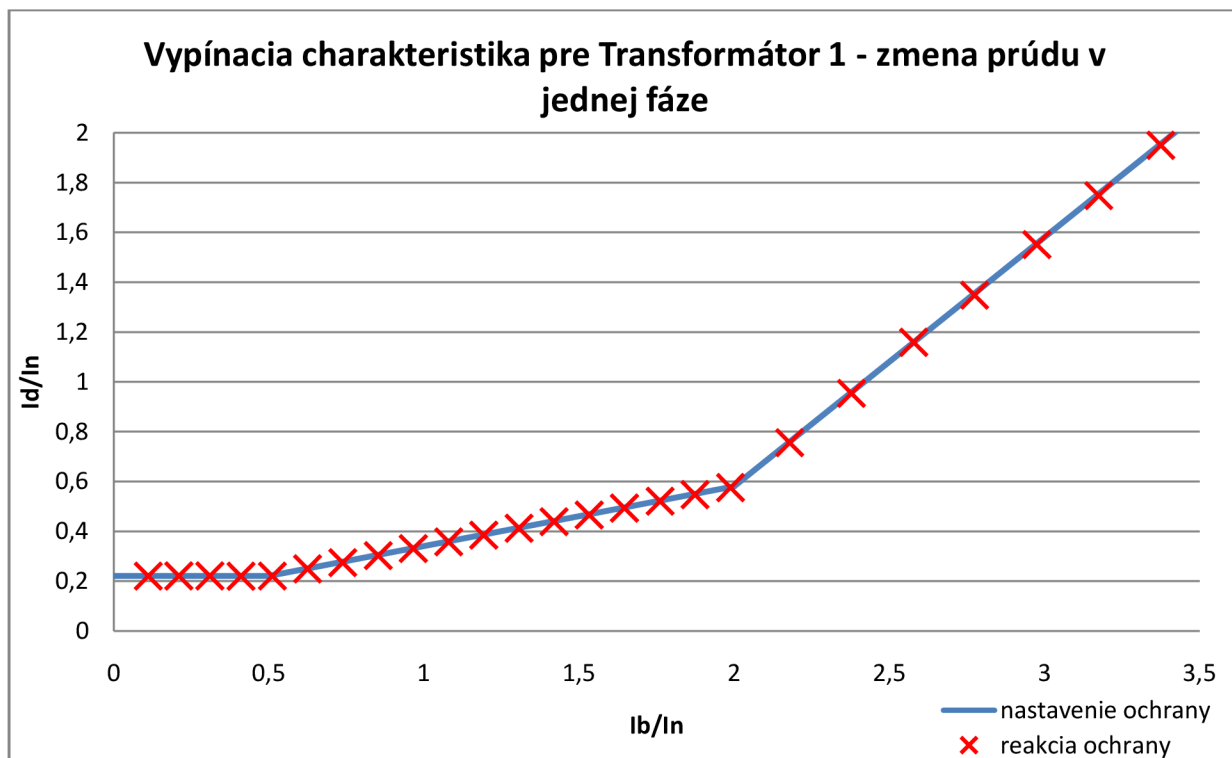
Tab. A-8 Namerané hodnoty pre Transformátor 3 pri zmene prúdu v jednej fáze

I_1 [A]	I_2 [A]	I_{1nast} [A]	I_{2nast} [A]	I_{2vyp} [A]	I_b [A]	I_d [A]	t [ms]
0	0	0,000	0,000	0,180	0,153	0,305	31,7
0,1	0,1	0,047	0,059	0,239	0,253	0,305	31,9
0,2	0,2	0,094	0,118	0,300	0,354	0,308	30,7
0,3	0,3	0,141	0,177	0,355	0,451	0,302	30,5
0,4	0,4	0,188	0,236	0,433	0,567	0,334	30,4
0,5	0,5	0,235	0,295	0,523	0,693	0,386	32,1
0,6	0,6	0,282	0,354	0,611	0,818	0,436	30,4
0,7	0,7	0,329	0,413	0,707	0,949	0,498	30,6
0,8	0,8	0,376	0,472	0,790	1,069	0,539	30,7
0,9	0,9	0,423	0,531	0,882	1,197	0,595	29,8
1	1	0,470	0,590	0,976	1,327	0,654	29,9
1,1	1,1	0,517	0,649	1,062	1,450	0,700	32,2
1,2	1,2	0,564	0,708	1,151	1,575	0,751	31,4
1,3	1,3	0,611	0,767	1,247	1,707	0,814	31,6
1,4	1,4	0,658	0,826	1,334	1,831	0,861	30,5
1,5	1,5	0,705	0,885	1,426	1,958	0,917	30,8
1,6	1,6	0,752	0,944	1,571	2,131	1,063	30,2
1,7	1,7	0,799	1,003	1,747	2,331	1,261	29,5
1,8	1,8	0,846	1,062	1,932	2,537	1,475	31,7
1,9	1,9	0,893	1,121	2,100	2,730	1,659	30,5
2	2	0,940	1,180	2,259	2,914	1,829	29,9

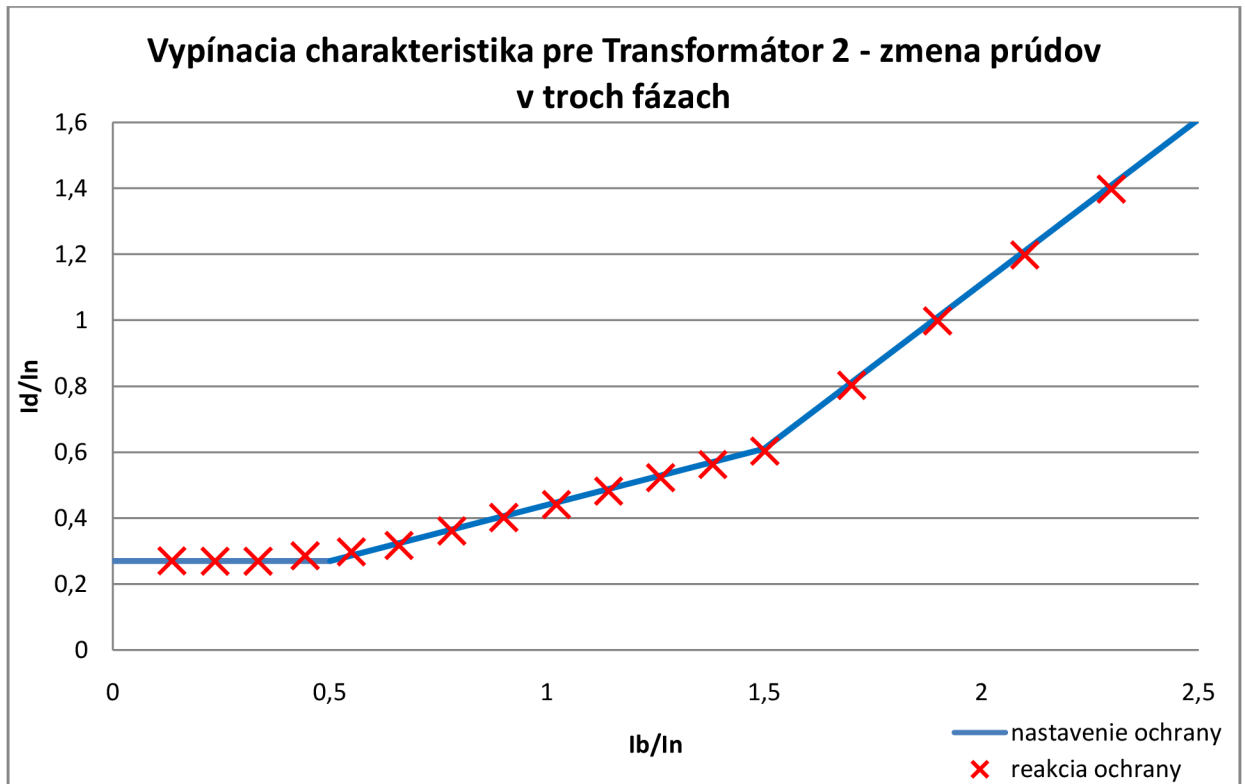
PRÍLOHA B – VYPÍNACIE CHARAKTERISTIKY



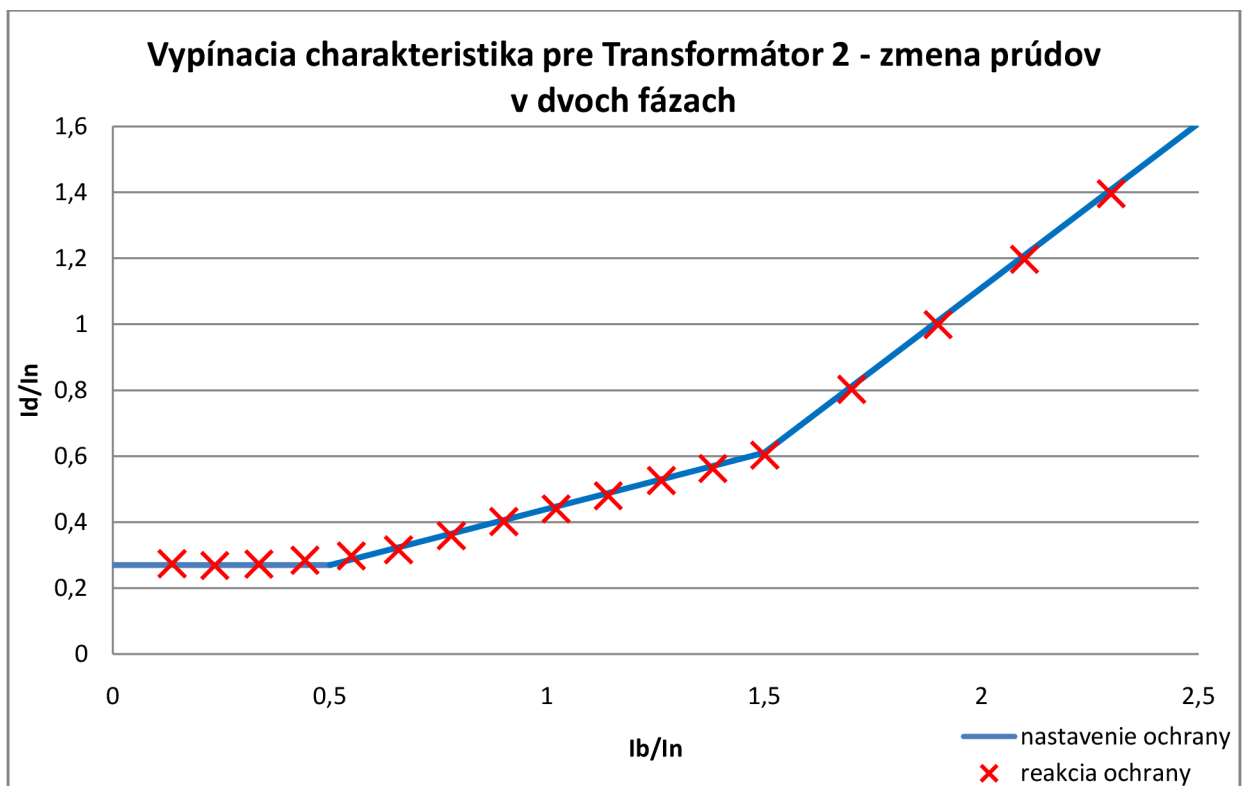
Obr.B-1 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 1 - zmena prúdov v dvoch fázach



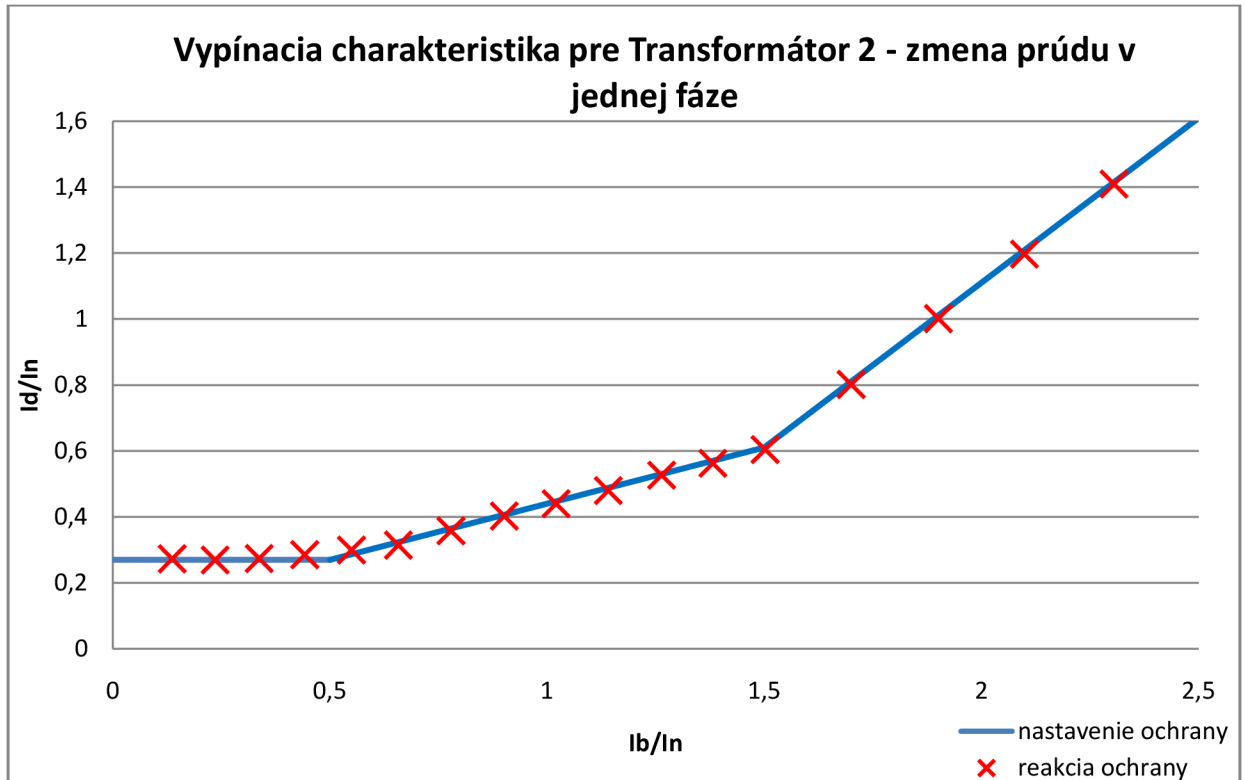
Obr.B-2 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 1 - zmena prúdu v jednej fáze



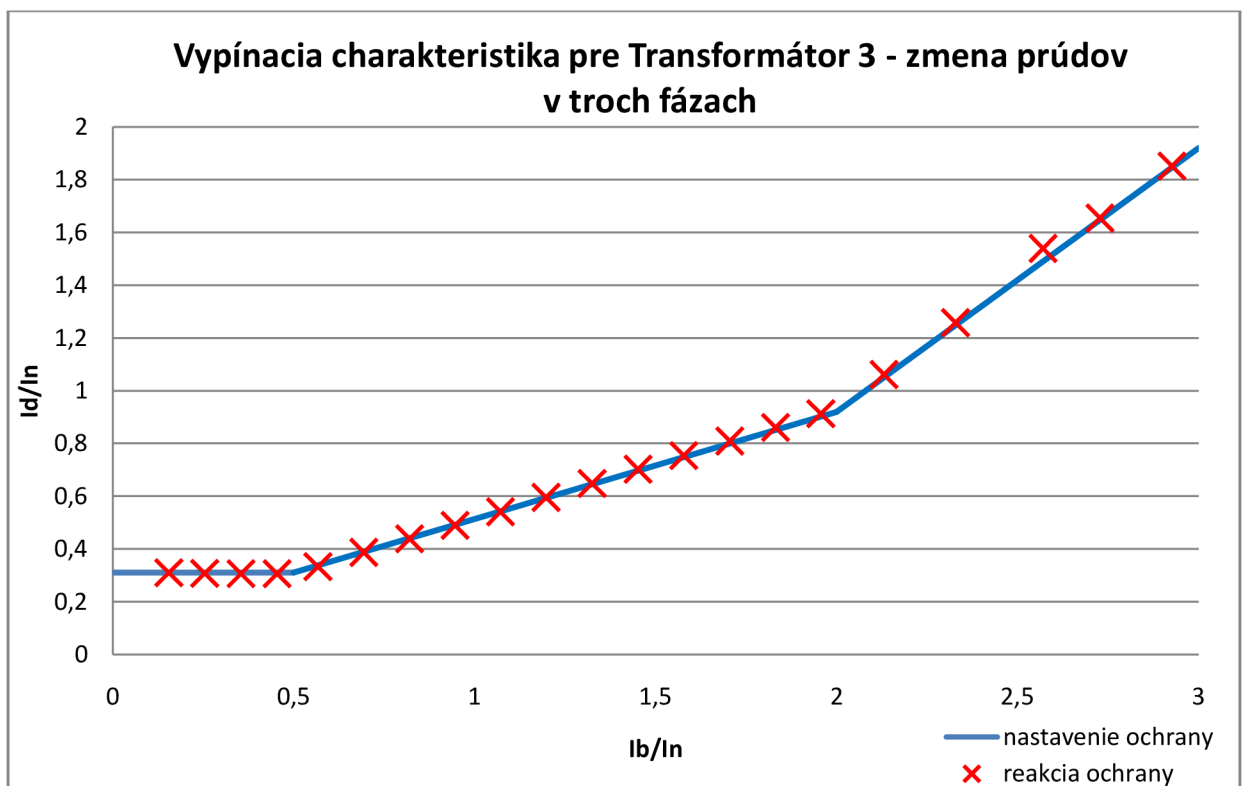
Obr.B-3 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 2 - zmena prúdov v troch fázach



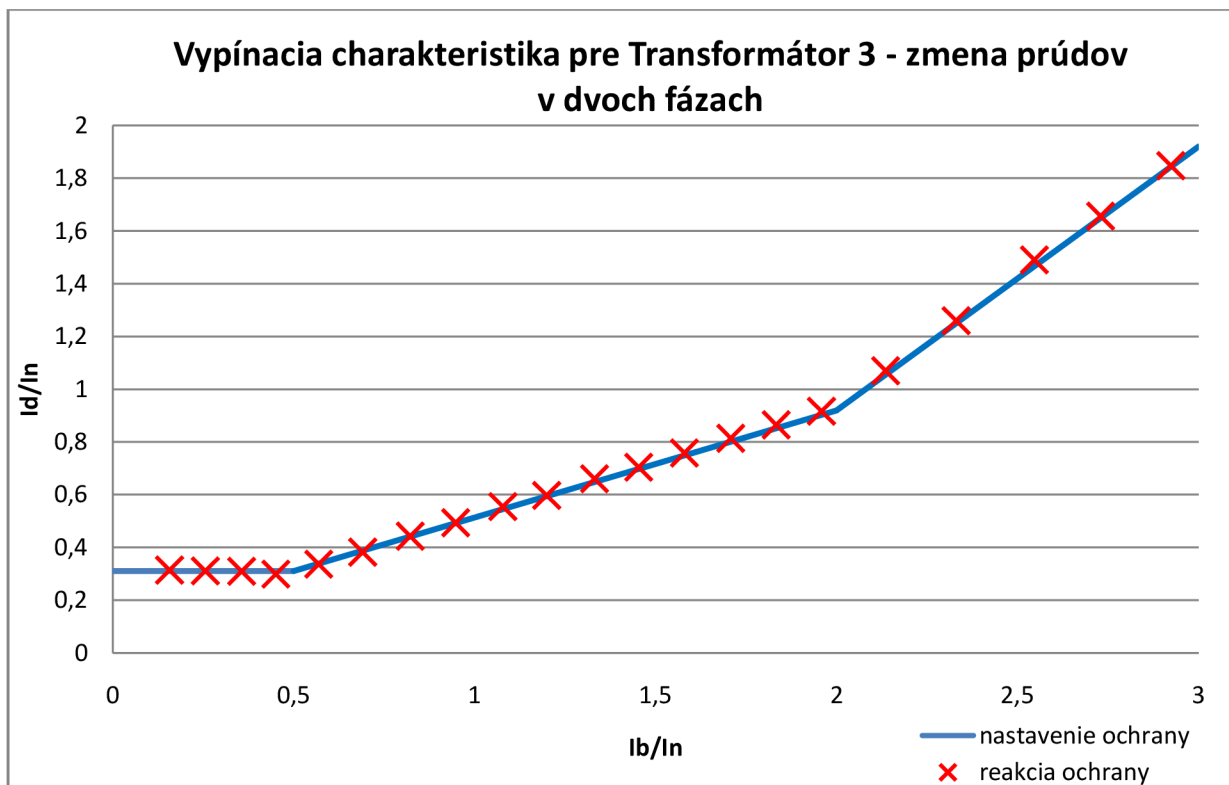
Obr.B-4 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 2 - zmena prúdov v dvoch fázach



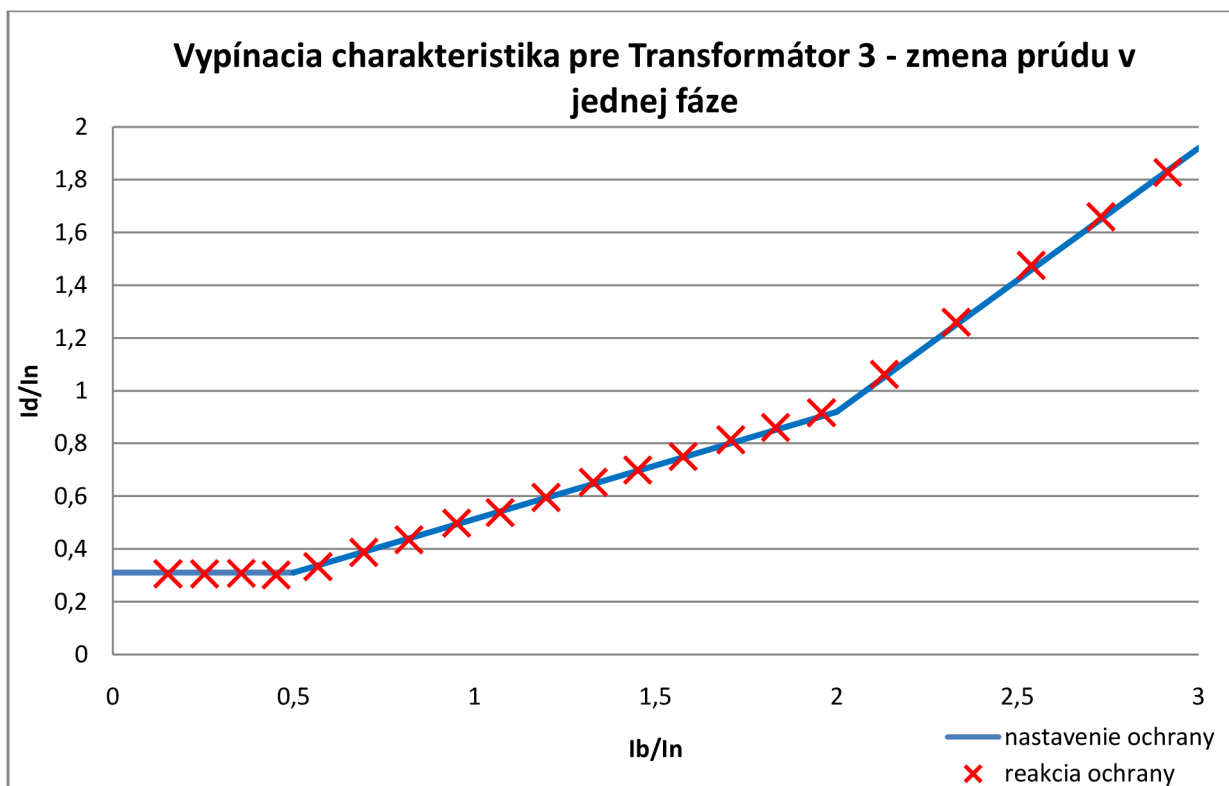
Obr.B-5 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 2 - zmena prúdu v jednej fáze



Obr.B-6 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 3 - zmena prúdov v troch fázach



Obr.B-7 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 3 - zmena prúdov v dvoch fázach



Obr.B-8 Vypínacia charakteristika pre Transformátor 3 - zmena prúdu v jednej fáze