



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

# NÁVRH SYSTÉMU CHRÁNĚNÍ S POUŽITÍM ELEKTRONICKÝCH PŘÍSTROJOVÝCH TRANSFORMÁTORŮ (SENZORŮ) V ROZVODNĚ VYSOKÉHO NAPĚTÍ

DESIGN OF PROTECTION SYSTEM USING AN SENSOR TECHNOLOGY IN MV SUBSTATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MIROSLAV STRAPKO

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAVID TOPOLÁNEK, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Elektroenergetika**

**Student:** Bc. Miroslav Strapko

**ID:** 106796

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2011/2012

## NÁZEV TÉMATU:

**Návrh systému chránění s použitím elektronických přístrojových transformátorů (senzorů) v rozvodně vysokého napětí**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Teoretický rozbor chránění vn rozvodny s použitím elektronických přístrojových transformátorů (senzorů), případně jejich kombinace s ABB přístrojovými transformátory proudu a napětí.
2. Studie problematiky připojení vn rozvodny do distribuční sítě (stanovení všech potřebných parametrů z pohledu chránění).
3. Výpočet zkratových poměrů.
4. Návrh systému chránění.
5. Výpočet parametrů ochranných funkcí.
6. Nastavení ochranných funkcí.
7. Otestování rozvodny se zaměřením na testování ochran (sekundární zkoušky ochran). Součástí kapitoly i uvedení všech zkoušek, které je potřeba provést při uvádění rozvodny do provozu.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 18.5.2012

**Vedoucí práce:** Ing. David Topolánek, Ph.D.

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 citácia práce:

STRAPKO, M. *Návrh systému chránenia s použitím elektronických prístrojových transformátorov (senzorov) v rozvodni vysokého napätia*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 130 strán. Vedúci diplomovej práce Ing. David Topolánek, Ph.D.

Ako autor uvedenej diplomovej práce prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb..

Zároveň si dovoľujem na tomto mieste vyjadriť poďakovanie zamestnancom E.ON Česká republika, s.r.o. (Ing. Ján Beneš, p. Jaromír Dvořák) za poskytnutie skratových pomerov a objasnenie požiadaviek pripájania rozvodne do distribučnej siete v uvažovanej oblasti mesta Brna, konzultantovi z ABB, s.r.o. (Ing. Karol Majer) za odborné vedenie pri tvorbe tejto práce, a vedúcemu diplomovej práce Ing. Davidovi Topolánkovi, Ph.D. za konzultácie a pripomienky. Tiež by som sa chcel poďakovať svojim rodičom za podporu počas môjho štúdia.

.....



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií**

**Ústav elektroenergetiky**

**Diplomová práce**

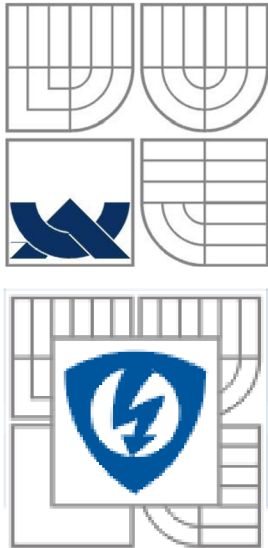
**Návrh systému chránění s použitím  
elektronických přístrojových  
transformátorů (senzorů) v rozvodně  
vysokého napětí**

**Miroslav Strapko**

**vedoucí: Ing. David Topolánek, Ph.D.**

**Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2012**

**Brno**



**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

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

**Master's Thesis**

# **Design of protection system using an sensor technology in MV substation**

**by**

**Miroslav Strapko**

**Supervisor: Ing. David Topolánek, Ph.D.**

**Brno University of Technology, 2012**

**Brno**

## ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá problematikou používania elektronických prístrojových transformátorov (senzorov) v systéme chránenia v rozvodni vysokého napätia. Rozvodňa je tvorená 2 prívodnými poľami, 2 vývodovými poľami pre motory, 2 vývodovými poľami pre transformátory, poľom merania, poľom spojky s výsuvnou časťou a poľom pevnej spojky s meraním napätia. Prívodné polia sú spojené s distribučnou sieťou E.ON prostredníctvom navrhnutého káblového rozvodu. Chránené zariadenia (výkonové transformátory a motory o danom menovitom výkone) sú pripojené k rozvádzačovým poliam UniGear typ ZS1 rovnako káblovým rozvodom.

Na základe skratových pomerov, odporúčenia normy ČSN 33 3051 a teoretických podkladov je navrhnutý systém chránenia. Pre vybrané ochranné funkcie sú určené ich parametre.

Ovládacie, monitorovacie a ochranné funkcie zastupuje ochranný terminál REF 542*plus*. V praktickej časti diplomovej práce sú uvedené sekundárne skúšky, ktoré sú potrebné pred uvedením zariadenia do prevádzky. Sekundárne skúšky boli realizované sekundárnym testerom ochrán FREJA 300 od výrobcu Megger. Výsledky testovania sú zobrazené ako vypínacie charakteristiky.

**KEÚČOVÉ SLOVÁ:** systém chránenia; senzor; prístrojový transformátor; ochranný terminál REF 542*plus*; rozdielová ochrana; zemná smerová ochrana; skratová ochrana; motorová ochrana; sekundárne skúšky ochrán

**ABSTRACT**

Master's thesis deals with use of electronic instrument transformers (sensors) in the protection system in medium-voltage substation. Substation consists of 2 incoming feeders, 2 outgoing feeders for motors, 2 outgoing feeders for power transformers, measuring, bus coupler and bus riser feeder. Incoming feeders are connected to distribution system E.ON by cable lines which were proposed. Protected machines (power transformers and motors with rated power) are connected to switchgear panels of UniGear ZS1 type by cable lines too.

Proposed protection system is based on the short-circuit conditions, standard CSN 33 3051 recommendations as well as theoretical backgrounds acquired from technical papers and other published literature according to the bibliography. For selected protection functions are defined their parameters.

Control, monitoring and protection functions provides REF 542*plus* relay. Consequently, secondary tests which are part of the commissioning, are given in the practical part of thesis. Secondary tests were performed by relay test system FREJA 300 by Megger. Results of tests are displayed in tripping characteristics.

**KEY WORDS:** protection system; electronic instrument transformer; instrument transformer; relay REF 542 *plus*; differential protection; directional earth-fault protection; overcurrent instantaneous protection; motor protection; secondary relay testing

# OBSAH

<b>ZOZNAM OBRÁZKOV</b> .....	<b>11</b>
<b>ZOZNAM TABULIEK</b> .....	<b>13</b>
<b>ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK</b> .....	<b>15</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>19</b>
<b>2 CIEĽ PRÁCE</b> .....	<b>20</b>
<b>3 CHRÁNENIE VN ROZVODNE POMOCOU SENZOROV A PRÍSTROJOVÝCH TRANSFORMÁTOROV</b> .....	<b>21</b>
<b>3.1 PRÍSTROJOVÝ TRANSFORMÁTOR A SENZOR</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2 TYPY OCHRANNÝCH FUNKCIÍ V ROZVODNI VYSOKÉHO NAPÄTIA</b> .....	<b>23</b>
3.2.1 ZEMNÉ OCHRANNÉ FUNKCIE.....	24
3.2.2 ROZDIELOVÁ OCHRANA.....	27
3.2.3 NADPRÚDOVÁ OCHRANA.....	30
3.2.4 TEPELNÁ OCHRANA .....	32
<b>4 PRIPOJENIE VN ROZVODNE DO DISTRIBUČNEJ SIETE</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1 SIEŤOVÝ NAPÁJAČ 22 kV</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2 PRIPOJOVACIE PODMIENKY A LEGISLATÍVA</b> .....	<b>39</b>
4.2.1 UZEMNENIE A POŽIADAVKY NA CHRÁNENIE SÚSTAVY UŽÍVATEĽA.....	40
4.2.2 PRÍPOJKY VYSOKÉHO NAPÄTIA REALIZOVANÉ KÁBLOVÝM VEDENÍM .....	41
4.2.3 PRIPOJENIE VÝROBNE S DISTRIBUČNOU SIETOU .....	42
<b>5 DIMENZOVANIE ZARIADENÍ ROZVODNE, VÝPOČET SKRATOVÝCH POMEROV</b> .....	<b>43</b>
<b>5.1 STROJOVÉ VYBAVENIE ROZVODNE</b> .....	<b>43</b>
5.1.1 DISTRIBUČNÝ TRANSFORMÁTOR 22/0,42 kV .....	43
5.1.2 ASYNCHRÓNNY INDUKČNÝ MOTOR VN .....	44
5.1.3 PREVODOVÝ TRANSFORMÁTOR 22/6 kV .....	45
<b>5.2 KÁBLOVÝ PRÍVOD Z DISTRIBUČNEJ SIETE VN</b> .....	<b>47</b>
5.2.1 DIMENZOVANIE Z HLADISKA PREVÁDZKOVEJ TEPLoty .....	47
5.2.2 DIMENZOVANIE Z HLADISKA ÚČINKOV SKRATOVÝCH PRÚDOV.....	48
<b>5.3 ROZVÁDZAČ ABB UNIGEAR TYP ZS1</b> .....	<b>49</b>
<b>5.4 KÁBLOVÝ VÝVOD NA TRANSFORMÁTOR</b> .....	<b>53</b>
5.4.1 DIMENZOVANIE Z HLADISKA PREVÁDZKOVEJ TEPLoty A Z HLADISKA ÚČINKOV SKRATOVÝCH PRÚDOV .....	53
<b>5.5 KÁBLOVÝ VÝVOD NA MOTOR</b> .....	<b>55</b>
5.5.1 DIMENZOVANIE Z HLADISKA PREVÁDZKOVEJ TEPLoty A Z HLADISKA ÚČINKOV SKRATOVÝCH PRÚDOV .....	55
<b>5.6 PREHLAD VYPOČÍTANÝCH SKRATOVÝCH POMEROV</b> .....	<b>57</b>
<b>6 NÁVRH SYSTÉMU CHRÁNENIA</b> .....	<b>60</b>
<b>6.1 CHRÁNENIE TRANSFORMÁTOROV</b> .....	<b>60</b>
<b>6.2 CHRÁNENIE ASYNCHRÓNNYCH MOTOROV</b> .....	<b>62</b>



6.3 SYSTÉM CHRÁNENIA POLÍ ROZVODNE S TERMINÁLOM REF 542PLUS .....	63
<b>7 VÝPOČET PARAMETROV A NASTAVENIE OCHRANNÝCH FUNKCIÍ.....</b>	<b>66</b>
7.1 ROZDIELOVÁ OCHRANA TRANSFORMÁTORA 22/6 kV.....	66
7.2 MOTOROVÁ OCHRANA.....	69
7.2.1 TEPELNÁ OCHRANA MOTORA .....	69
7.2.2 ROZDIELOVÁ OCHRANA MOTORA VN .....	71
7.2.3 OCHRANA PRI ZABLOKOVANOM ROTORE .....	73
7.2.4 OCHRANA ROZBEHU MOTORA .....	74
7.2.5 ČÍTAČ POČTU ROZBEHOV MOTORA .....	75
7.3 PODPĚŤOVÁ OCHRANA .....	77
7.4 NADPRŮDOVÁ OCHRANA .....	78
7.4.1 SKRATOVÁ OCHRANA VÝVODOVÉHO POLA MOTORA .....	78
7.4.2 SKRATOVÁ OCHRANA VÝVODOVÉHO POLA TRANSFORMÁTORA.....	79
7.4.3 SKRATOVÁ OCHRANA V POLI POZDĚŽNEHO SPÍNAČA PŘÍPOJNÍC – SPOJKY .....	80
7.4.4 SKRATOVÁ OCHRANA V PŘÍVODNOM POLI .....	81
7.5 ZEMNÉ OCHRANNÉ FUNKCIE.....	81
7.5.1 ZEMNÁ SMEROVÁ OCHRANA .....	81
7.5.2 ZEMNÁ OCHRANA MOTORA .....	83
<b>8 OTESTOVANIE ROZVODNE.....</b>	<b>85</b>
8.1 TESTOVACÍ SYSTÉM OCHRÁN FREJA 300 .....	86
8.2 SKŮŠKY OCHRÁN PŘED UVEDENÍM ROZVODNE DO TRVALEJ PŘEVÁDZKY .....	87
8.3 SEKUNDÁRNE SKŮŠKY OCHRANY REF 542PLUS .....	89
8.3.1 ZEMNÁ SMEROVÁ OCHRANA .....	90
8.3.2 ZEMNÁ OCHRANA MOTORA .....	91
8.3.3 ROZDIELOVÁ OCHRANA TRANSFORMÁTORA 22/6 kV .....	92
8.3.4 ROZDIELOVÁ OCHRANA MOTORA.....	95
8.3.5 TEPELNÁ OCHRANA MOTORA .....	96
8.3.6 OCHRANA ROZBEHU MOTORA .....	97
8.3.7 OCHRANA PRI ZABLOKOVANOM ROTORE .....	98
8.3.8 ČÍTAČ POČTU ROZBEHOV MOTORA .....	99
8.3.9 PODPĚŤOVÉ OCHRANY .....	100
8.3.10 SKRATOVÉ OCHRANY .....	101
<b>9 ZÁVER.....</b>	<b>103</b>
9.1 SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY .....	103
9.2 ZÁVERY PRÁCE.....	103
9.3 VÝZNAM A VYUŽITIE DOSIAHNUTÝCH VÝSLEDKOV .....	106
<b>POUŽITÁ LITERATÚRA .....</b>	<b>107</b>
<b>PRÍLOHA A HODNOTY NAPĚŤOVÉHO SÚČiniteľa C [8].....</b>	<b>109</b>
<b>PRÍLOHA B PREPOČÍTAVACIE SÚČinitele pre okolité teploty zeme odlišné od 20 °C [16].....</b>	<b>109</b>
<b>PRÍLOHA C PREPOČÍTAVACIE SÚČinitele prúdovej zaťažiteľnosti pre pôdu s rôznym merným tepelným odporom [16].....</b>	<b>109</b>
<b>PRÍLOHA D SPÔSOBY ULOŽENIA KÁBLOV A VODIČOV [16] .....</b>	<b>110</b>

---

PRÍLOHA E	DOVOLENÉ PRÚDY KÁBLOV A VODIČOV PRI ULOŽENÍ V ZEMI [16].....	111
PRÍLOHA F	KATALÓGOVÉ ÚDAJE KÁBLU 22-AXEKVCEY [18].....	112
PRÍLOHA G	SÚČINITEĽ <i>M</i> PRE TEPELNÝ ÚČINOK JEDNOSMERNEJ ZLOŽKY SKRATOVÉHO PRÚDU [8] .....	112
PRÍLOHA H	PREPOČÍTAVACIE SÚČINITELE PRE ZOSKUPENIE VIAC KÁBLOV [16]..	113
PRÍLOHA I	PREPOČÍTAVACIE SÚČINITELE PRE OKOLITÉ TEPLoty VZDUCHU ODLIŠNÉ OD 30 °C [16].....	113
PRÍLOHA J	DOVOLENÉ PRÚDY VODIČOV S MEDENÝMI JADRAMI, A HLINÍKOVÝMI JADRAMI [16] .....	114
PRÍLOHA K	KATALÓGOVÉ ÚDAJE KÁBLU 10-CXEKVCEY [19].....	115
PRÍLOHA L	ANSI KÓDY OCHRANNÝCH FUNKCIÍ A ICH PARAMETRE PRE OCHRANU REF 542PLUS [30] .....	116
PRÍLOHA M	ANSI ČÍSELNÉ ZNAČENIE PODĽA IEEE C.37.1-1991 [5] .....	119
PRÍLOHA N	OCHRANY SYNCHRÓNNYCH MOTOROV [28] .....	121
PRÍLOHA O	VÝKRESY JEDNOPÓLOVEJ SCHÉMY ZAPOJENIA, NASTAVENIE OCHRANNÝCH FUNKCIÍ .....	121
PRÍLOHA P	TABUĽKY NASTAVOVANÝCH A NAMERANÝCH HODNÔT.....	122
PRÍLOHA Q	DÁTOVÉ CD .....	130

## ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 3-1 Prístrojový transformátor napätia typu TJP 6.x, schematická značka, vnútorné zapojenie a svorkovnica [12].</i>	21
<i>Obr. 3-2 Kombinovaný senzor typu KEVCD A, schematické značky a zapojenie s konektormi typu RJ-45 a Twin-BNC [13], [14].</i>	22
<i>Obr. 3-3 Prepojenie senzoru KEVCD A s ochranným a riadiacim terminálom REF 542plus [14].</i>	23
<i>Obr. 3-4 Význam značenia číselných kódov ochrany pri zemnom spojení [2].</i>	24
<i>Obr. 3-5 Princíp charakteristiky zemnej smerovej ochrany v systéme s kompenzovaným uzlom, vytvorené na základe [5], [32].</i>	25
<i>Obr. 3-6 Zapojenie jedнопólovo izolovaných prístrojových transformátorov napätia ako filter na netočivú zložku napätia, vytvorené na základe [10].</i>	26
<i>Obr. 3-7 Zapojenie prístrojových transformátorov prúdu ako filter na netočivú zložku prúdu a), b), priame meranie z násuvného súčtového transformátora c), vytvorené na základe [10], [17].</i>	27
<i>Obr. 3-8 Porovnanie vypínacích charakteristík rozdielovej ochrany.</i>	29
<i>Obr. 3-9 Schéma pre určenie teploty motora.</i>	32
<i>Obr. 3-10 Zaťažovacia charakteristika motora [33].</i>	33
<i>Obr. 3-11 Vzťah medzi teplotou a triedou izolácie, vytvorené na základe [29], [4].</i>	33
<i>Obr. 4-1 Jedнопólová schéma rozvodne vn – rozvádzač UniGear typ ZS1 a), a prepojenie zariadení rozvodne s distribučnou sieťou b).</i>	35
<i>Obr. 4-2 Použitie káblovej koncovky a obmedzovača prepätia, vytvorené na základe [17].</i>	36
<i>Obr. 4-3 Topológia napájacej siete v oblasti Brno [34].</i>	38
<i>Obr. 5-1 Jednotka rozvádzača UniGear typ ZS1, vytvorené na základe [1], [14], [30].</i>	49
<i>Obr. 5-2 Ovládacie prvky vypínača VD4 [1].</i>	50
<i>Obr. 5-3 Označenie miest skratu v poliach rozvodne.</i>	57
<i>Obr. 6-1 Ovládacia a základná jednotka terminálu REF 542plus [30].</i>	65
<i>Obr. 7-1 Nastavenie parametrov rozdielovej ochrany transformátora 22/6 kV.</i>	69
<i>Obr. 7-2 Nastavenie parametrov tepelnej ochrany motora.</i>	71
<i>Obr. 7-3 Nastavenie parametrov rozdielovej ochrany motora vn.</i>	73
<i>Obr. 7-4 Nastavenie parametrov ochrany pri zablokovanom rotore.</i>	74
<i>Obr. 7-5 Nastavenie parametrov ochrany rozbehu motora.</i>	75
<i>Obr. 7-6 Nastavenie parametrov čítača počtu rozbehov motora.</i>	76
<i>Obr. 7-7 Nastavenie parametrov podpäťovej ochrany.</i>	77
<i>Obr. 7-8 Nastavenie parametrov skratovej ochrany vývodového poľa motora.</i>	79

---

<i>Obr. 7-9 Nastavenie parametrov skratovej ochrany vývodového poľa transformátora. ....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 7-10 Skratová ochrana v poli pozdĺžneho spínača prípojnic.....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 7-11 Nastavenie parametrov zemnej smerovej ochrany. ....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 7-12 Nastavenie parametrov zemnej ochrany motora. ....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 8-1 Popis panelu testeru FREJA 300 [7].....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 8-2 Zapojenie meracieho pracoviska pre sekundárne skúšky.....</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 8-3 Simulovanie maximálnej hodnoty netočivej zložky napätia <math>3 \cdot U_{(0)}</math> testerom. ....</i>	<i>90</i>
<i>Obr. 8-4 Vypínacia charakteristika zemnej smerovej ochrany. ....</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 8-5 Vypínacia charakteristika zemnej ochrany motora. ....</i>	<i>92</i>
<i>Obr. 8-6 Vypínacia charakteristika rozdielovej ochrany – transformátor. ....</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 8-7 Vypínacia charakteristika rozdielovej ochrany – motor. ....</i>	<i>96</i>
<i>Obr. 8-8 Vypínacia charakteristika tepelnej ochrany motora. ....</i>	<i>97</i>
<i>Obr. 8-9 Vypínacia charakteristika ochrany rozbehu motora. ....</i>	<i>98</i>
<i>Obr. 8-10 Vypínacia charakteristika ochrany pri zablokovanom rotore. ....</i>	<i>98</i>
<i>Obr. 8-11 Konfigurácia pre testovanie čítača počtu rozbehov motora v programe FUPLA, vytvorené na základe [33]. ....</i>	<i>99</i>
<i>Obr. 8-12 Priebeh testovania čítača počtu rozbehov motora. ....</i>	<i>100</i>
<i>Obr. 8-13 Vypínacia charakteristika podpäťovej ochrany motora. ....</i>	<i>100</i>
<i>Obr. 8-14 Vypínacia charakteristika podpäťovej ochrany na hladine 22 kV. ....</i>	<i>101</i>
<i>Obr. 8-15 Vypínacia charakteristika skratovej ochrany motorových polí. ....</i>	<i>101</i>
<i>Obr. 8-16 Vypínacia charakteristika skratovej ochrany v poli spojky.....</i>	<i>102</i>
<i>Obr. 8-17 Vypínacia charakteristika skratovej ochrany v prívodných poliach. ....</i>	<i>102</i>
<i>Obr. 8-18 Vypínacia charakteristika skratovej ochrany v transformátorových poliach. ....</i>	<i>102</i>

**ZOZNAM TABULIEK**

<i>Tab. 3-1 Štítkové údaje prístrojového transformátoru napätia typu TJP 6.x [12].</i>	22
<i>Tab. 3-2 Konštanty určujúce stupeň inverzie IDMT charakteristik [4].</i>	30
<i>Tab. 3-3 Triedy izolácii a odpovedajúce teploty, vytvorené na základe [4].</i>	33
<i>Tab. 3-4 Maximálna teplota prehriatia v °C počas normálnej prevádzky pri 40 °C teplote okolia [33].</i>	34
<i>Tab. 3-5 Maximálna teplota prehriatia v °C počas krátkodobého preťaženia pri 40 °C teplote okolia [33].</i>	34
<i>Tab. 4-1 Označenia a popis používaných impedancií pri výpočtoch.</i>	36
<i>Tab. 4-2 Skratové výkony rozvodní Sokolnice, Moravany a v mieste pripojenia rozvodne<sup>3</sup>.</i>	37
<i>Tab. 4-3 Odborné zariadenie (za rezerváciu príkomy) [24].</i>	40
<i>Tab. 4-4 Ochrany a ich funkcie pri chránení výrobné [25].</i>	42
<i>Tab. 5-1 Parametre olejového distribučného transformátora ABB 22/0,42 kV [20].</i>	43
<i>Tab. 5-2 Parametre vn asynchrónneho motora ABB typu M3BM [3].</i>	45
<i>Tab. 5-3 Parametre olejového prevodového transformátora ABB 22/6 kV [22].</i>	46
<i>Tab. 5-4 Parametre prírodných polí rozvádzača UniGear typ ZS1 [1].</i>	50
<i>Tab. 5-5 Parametre spojky s výsuvnou časťou rozvádzača UniGear typ ZS1 [1].</i>	51
<i>Tab. 5-6 Parametre pevnej spojky s meraním napätia, UniGear typ ZS1 [1].</i>	51
<i>Tab. 5-7 Parametre poľa merania, UniGear typ ZS1 [1].</i>	51
<i>Tab. 5-8 Parametre vývodových polí rozvádzača UniGear typ ZS1 [1].</i>	52
<i>Tab. 5-9 Prepojenie rozvádzača UniGear typ ZS1 s transformátorom a motorom [1].</i>	52
<i>Tab. 5-10 Vypočítané skratové pomery v poliach rozvodne.</i>	59
<i>Tab. 6-1 Ochrany transformátora v odbočke alternátora podľa ČSN 33 3051 [28].</i>	61
<i>Tab. 6-2 Ochrany sieťových transformátorov podľa ČSN 33 3051 [28].</i>	62
<i>Tab. 6-3 Ochrany blokového transformátora podľa ČSN 33 3051 [28].</i>	62
<i>Tab. 6-4 Ochrany asynchrónnych motorov podľa ČSN 33 3051 [28].</i>	63
<i>Tab. 6-5 Ochranné funkcie použité pri chránení polí rozvodne.</i>	64
<i>Tab. 7-1 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku rozdielovej ochrany transformátora [32].</i>	66
<i>Tab. 7-2 Parametre pre nastavenie rozdielovej ochrany transformátora [32].</i>	66
<i>Tab. 7-3 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku tepelnej ochrany motora [32].</i>	69
<i>Tab. 7-4 Parametre pre nastavenie tepelnej ochrany motora [32].</i>	69
<i>Tab. 7-5 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku ochrany pri zablokovanom rotore [32].</i>	73
<i>Tab. 7-6 Parametre pre nastavenie ochrany pri zablokovanom rotore [32].</i>	73
<i>Tab. 7-7 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku ochrany rozbehu motora [32].</i>	74

---

<i>Tab. 7-8 Parametre pre nastavenie ochrany rozbehu motora [32].</i>	<i>74</i>
<i>Tab. 7-9 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku čítača počtu rozbehov motora [32].</i>	<i>75</i>
<i>Tab. 7-10 Parametre pre nastavenie čítača počtu rozbehov motora [32].</i>	<i>76</i>
<i>Tab. 7-11 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku podpäťovej ochrany [32].</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 7-12 Parametre pre nastavenie podpäťovej ochrany [32].</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 7-13 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku nadprúdovej okamžikovej ochrany [32].</i>	<i>78</i>
<i>Tab. 7-14 Parametre pre nastavenie nadprúdovej okamžikovej ochrany [32].</i>	<i>78</i>
<i>Tab. 7-15 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku zemnej smerovej ochrany [32].</i>	<i>81</i>
<i>Tab. 7-16 Parametre pre nastavenie zemnej smerovej ochrany [32].</i>	<i>81</i>
<i>Tab. 7-17 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku zemnej ochrany motora [32].</i>	<i>83</i>
<i>Tab. 7-18 Parametre pre nastavenie zemnej ochrany motora [32].</i>	<i>83</i>
<i>Tab. 8-1 Skúšobné testy pre vykonanie funkčných skúšok [37].</i>	<i>88</i>
<i>Tab. 8-2 Prevod veličín medzi zariadeniami FREJA, REF 542plus a KEVCD A.</i>	<i>89</i>
<i>Tab. 8-3 Porovnanie výpočtu rozdielového prúdu <math>I_d</math> pre rôzne hodinové uhly transformátora [31].</i>	<i>93</i>
<i>Tab. 8-4 Nastavené hodnoty prúdov a napätí pre testovanie rozdielovej ochrany transformátora – stav normálnej prevádzky transformátora.</i>	<i>94</i>
<i>Tab. 9-1 Presnosti použitých zariadení pri testovaní sekundárnych skúšok ochrán [30], [7].</i>	<i>105</i>
<i>Tab. 9-2 Porovnanie časov pôsobenia ochrany REF 542plus pri testovaní ochranných funkcií.</i>	<i>106</i>

## ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

### Skratky a symboly

$\bar{a}$	jednotkový fázor natočenia ( $1 \angle 120^\circ$ )
A - N	označenie primárnych svoriek transformátoru napätia
a - n	označenie sekundárnych svoriek transformátoru napätia
ABB	<i>Asea Brown Boveri</i>
BNC	bajonetový konektor ( <i>Bayonet Neill–Concelman</i> )
d <sub>a</sub> - d <sub>n</sub>	označenie sekundárnych svoriek pomocného vinutia PTN
FUPLA	<i>FUnctional PRogramming LAnguage</i>
IDMT	funkcia so závislým časovým oneskorením a minimálnym nezávislým časom ( <i>Inverse Definite Minimum Time</i> )
IED	ochranné a riadiace programovateľné elektronické zariadenie ( <i>Intelligent Electrical Device</i> )
IP	stupeň krytia ( <i>International Protection</i> )
$j$	imaginárna jednotka
P1 - P2	označenie primárnych svoriek transformátoru prúdu
PTN	prístrojový transformátor napätia
PTP	prístrojový transformátor prúdu
RC	Rogowského cievka ( <i>Rogowski coil</i> )
S1 - S2	označenie sekundárnych svoriek transformátoru prúdu
vn	vysoké napätie ( <i>medium voltage</i> )
XLPE	zosietený polyetylén ( <i>cross-linked polyethylene</i> )
→	vypočítaná hodnota je menšia ako minimálna hodnota nastavenia v ochrane (zvolená minimálna hodnota nastavenia ochrannej funkcie)

### Veličiny

$S''_{kmax}$	počiatočný súmerný rázový skratový výkon (maximálny), ( <i>initial symmetrical short-circuit power</i> )	[VA]
$S''_{kmin}$	počiatočný rázový skratový výkon (minimálny)	[VA]
$I''_{kmax}$	počiatočný súmerný rázový skratový prúd (maximálny), ( <i>initial symmetrical short-circuit current</i> )	[A]
$I''_{kmin}$	počiatočný rázový skratový prúd (minimálny)	[A]
$\bar{Z}$	impedancia	[Ω]
$\bar{U}_{(0)}$	fázor netočivej zložky napätia ( <i>residual/neutral voltage vector</i> )	[V]

$\bar{U}_{(2)}$	fázor spätnej zložky napätia	[V]
$\bar{U}_{(1)}$	fázor súslednej zložky napätia	[V]
$\bar{I}_{(0)}$	fázor netočivej zložky prúdu ( <i>residual/neutral current vector</i> )	[A]
$\bar{I}_{(2)}$	fázor spätnej zložky prúdu	[A]
$\bar{I}_{(1)}$	fázor súslednej zložky prúdu	[A]
$\bar{U}_D$	fázor napätia meraný na otvorenom trojuholníku PTN	[V]
$\bar{I}_{1p}$	fázor primárneho prúdu chráneného zariadenia	[A]
$\bar{I}_{2p}$	fázor sekundárneho prúdu chráneného zariadenia	[A]
$\bar{I}_{1s}$	primárny prúd chráneného zariadenia prepočítaný cez PTP (fázor)	[A]
$\bar{I}_{2s}$	sekundárny prúd chráneného zariadenia prepočítaný cez PTP (fázor)	[A]
$c$	napät'ový súčiniteľ ( <i>voltage factor</i> )	[-]
$C$	kapacita	[F]
$c_0$	špecifické teplo	[Jcm <sup>-3</sup> °C <sup>-1</sup> ]
$f$	kmitočet (frekvencia)	[Hz]
$I$	meraná hodnota prúdu	[A]
$I_{2r}$	rozbehová hodnota prúdu ochrany	[A]
$I_\infty$	nastavená popudová (medzná) hodnota prúdu	[A]
$I_b$	stabilizačný prúd ( <i>biased current</i> )	[A]
$I_B$	vzťažný prúd ( <i>basic current</i> )	[A]
$I_d$	rozdielový (diferenciálny) prúd ( <i>differential current</i> )	[A]
$I_k$	ustálený skratový prúd ( <i>steady-state short-circuit current</i> )	[A]
$I_{LR}$	záberný prúd motora	[A]
$I_n$	menovité prúdové zaťaženie vodiča, menovitý prúd ochrany	[A]
$i_p$	nárazový skratový prúd ( <i>peak short-circuit current</i> )	[A]
$I_p$	výpočtový prúd	[A]
$I_p$	prúd motora pred vznikom preťaženia	[A]
$I_r$	menovitý prúd zariadenia ( <i>rated current</i> )	[A]
$I_{th}$	ekvivalentný otepľovací skratový prúd ( <i>thermal equivalent short-circuit current</i> )	[A]
$J$	moment zotrvačnosti	[kgm <sup>2</sup> ]
$K$	korekčný súčiniteľ	[-]



$k$	prepočítavací súčiniteľ pre okolité teploty zeme odlišné od 20 °C	[-]
$k$	násobiaci časový faktor	[-]
$k$	konštanta vyjadrujúca preťaženie	[-]
$k_b$	koeficient bezpečnosti	[-]
$k_c$	koeficient citlivosti	[-]
$k_p$	prídržný pomer	[-]
$L$	indukčnosť	[H]
$M$	moment sily	[Nm]
$m$	činiteľ pre tepelné účinky jednosmernej zložky	[-]
$n$	rýchlosť otáčania rotora	[s <sup>-1</sup> ]
$n$	činiteľ pre tepelné účinky striedavej zložky	[-]
$n_o$	synchronná rýchlosť	[s <sup>-1</sup> ]
$p$	počet pólových dvojíc asynchrónneho motora	[-]
$P_{0T}$	straty naprázdno transformátora	[W]
$p_i$	prevod prúdového transformátoru	[-]
$P_{krT}$	straty nakrátko transformátora	[W]
$p_t$	rozsah regulácie napätia transformátora	[%]
$p_u$	prevod napäťového transformátoru	[-]
$q_n$	menovitý prierez	[m <sup>2</sup> ]
$R$	rezistencia	[Ω]
$S_{LR}$	zdanlivý výkon pri spúšťaní asynchrónneho motora	[VA]
$S_r$	menovitý zdanlivý výkon zariadenia	[VA]
$t$	vypínací čas ochrany	[s]
$T_k$	doba od okamžiku vzniku poruchy až do jej konečného vypnutia	[s]
$U_{2r}$	rozbehová hodnota napätia ochrany	[V]
$u_{kr}$	menovité napätie nakrátko transformátora	[%]
$U_{\min}$	najnižšie možné prevádzkové napätie v mieste ochrany	[V]
$U_n$	menovité napätie siete ( <i>nominal system voltage</i> )	[V]
$U_r$	menovité napätie zariadenia ( <i>rated voltage</i> )	[V]
$u_r$	činná zložka napätia nakrátko transformátora	[-]
$U_{rTHV}/U_{rTLV}$	menovitý prevod transformátora	[V/V]
$u_x$	jalová zložka napätia nakrátko transformátora	[-]
$X$	reaktancia	[Ω]

$x_T$	pomerná hodnota reaktancie transformátora	[-]
$\alpha, \beta$	konštanty určujúce stupeň inverzie IDMT charakteristiky	[-]
$\eta$	účinnosť asynchrónneho motora	[%]
$\varphi$	fázový uhol	[°]
$\varphi_k$	fázový uhol pri rozbehu	[°]
$\kappa$	súčiniteľ pre výpočet nárazového skratového prúdu	[-]
$\theta$	teplota	[°C]
$\theta_f$	fiktívna teplota, pri ktorej sa dosiahne supravodivosť	[°C]
$\theta_k$	najvyššia dovolená teplota jadra pri skrate	[°C]
$\theta_o$	teplota okolia	[°C]
$\theta_z$	najvyššia dovolená prevádzková teplota jadra vodiča	[°C]
$\rho_{20}$	špecifický odpor pri 20 °C	[ $\Omega\text{mm}^2\text{m}^{-1}$ ]
$\tau$	časová konštanta	[s]

**Dolné indexy**

(0)	netočivá zložka
(1)	súsledná zložka
(2)	spätná zložka
E	spojený so zemou
HV	vinutie vyššieho napätia transformátora ( <i>high voltage</i> )
K	korigovaná hodnota, prepočítaná korekčným súčiniteľom $K$
k	hodnota na kilometer dĺžky
L1, L2, L3	vodiče trojfázovej striedavej sústavy
LR	záberný ( <i>locked running rotor</i> )
LV	vinutie nižšieho napätia transformátora ( <i>low voltage</i> )
M	asynchrónny motor
max	maximálny ( <i>maximum</i> )
min	minimálny ( <i>minimum</i> )
Q	napájač
r	menovitá hodnota zariadenia
T	transformátor
t	vypínací

# 1 ÚVOD

Elektrická energia sa stala neoddeliteľnou súčasťou nášho života. Pri súčasnom trende rastu spotreby energie však rastú požiadavky aj na jej výrobu. Vznikajú nové elektrárenské bloky alebo „zdroje zelenej energie“. Elektrizačná sústava, ktorá zahŕňa prvky na výrobu, transformáciu, prenos, rozvod a spotrebu elektrickej energie, sa tak neustále rozrastá. Z hľadiska zabezpečenia spoľahlivosti prevádzky je veľmi dôležitý systém chránenia, ktorého základná jednotka je elektrická ochrana. Jej úlohou je na základe vstupných hodnôt, informácií a nastavených parametrov zistiť, či ide o prevádzkový (dovolený) stav alebo o poruchu. Poruchou môže byť napríklad skrat, zemné spojenie, preťaženie, prepätie, nesúmerné zaťaženie či spätný tok výkonu. Pri zistení poruchy v chránenom objekte dáva elektrická ochrana povel na vypnutie, a súčasne je signalizovaný abnormálny prevádzkový stav. Žiadame, aby jej funkcia bola spoľahlivá, selektívna, rýchla, citlivá a samozrejme presná. Prevádzka rozvodní elektrickej energie je teda podmienená správnu funkciou elektrických ochrán. Jedným z riešení v oblasti chránenia rozvodne je aj terminál chránenia a riadenia poľa rozvodne REF 542*plus*. Ide o digitálnu ochranu, ktorá kombinuje funkciu merania, riadenia, kontroly, ochrany a vizualizácie informácií o prevádzkovom stave odbočky pre užívateľa v jednom celku.

Pre veľký rozsah meraných elektrických veličín v rozvodni je nevhodné prispôbovať prúdové a napätové systémy meracích či istiacich prístrojov takýmto požiadavkám. Preto sa používajú prístrojové transformátory, pomocou ktorých sa tieto prístroje zapájajú do obvodov nepriamo. Transformujú hodnoty prúdov a napätí na štandardizované hodnoty pre napájanie prúdových a napätových obvodov systémov a elektrických ochrán, chránia meracie a istiace prístroje z dosahu silných magnetických a elektrických polí, a umožňujú sústredenie meracích a istiacich prístrojov na jednom mieste. Stále viac presadzovanou možnosťou merania elektrického prúdu a napätia v rozvodniach sú v súčasnosti elektronické prístrojové transformátory, niekedy tiež nazývané senzory. Aj keď je technológia senzorov (odporové a kapacitné deliče, Rogowského cievka) známa už niekoľko desiatok rokov, ich plné využitie poskytujú až moderné mikroprocesorové ochrany. V diplomovej práci bude predstavený kombinovaný senzor pre vnútorné použitie typu KEVCD A a napätový transformátor pre vnútorné prostredie typu TJP 6.x. Kombináciou oboch týchto technológií možno dosiahnuť ideálneho využitia ich výhod v rozvádzačoch vysokého napätia aj s nevyhnutným rešpektovaním niektorých súčasných technických obmedzení.

Spomínaný rast spotreby elektrickej energie spôsobil, že rozsah rozvodu vn narastal v počte odbočiek a výkonoch. Z hľadiska hospodárnosti je potrebné, aby sa rozvodné zariadenie vn umiestňovalo v centre spotreby (v prevádzke). Prvé rozvádzače boli podobné kobkovým rozvodniam, pretože sa kobka vybavila po stranách plechmi a dverami. Pre minimalizáciu rozmerov rozvádzača oproti klasickej kobkovej rozvodni sa použil výkonový vypínač s výsuvnými kontaktmi (ktoré nahradili odpojovače), čím došlo k zmenšeniu potrebného obstavaného priestoru. Dnešné rozvádzače sú typovo a kusovo odskúšané, majú lepšiu ochranu pri vzniku oblúku, relatívne malé rozmery a s možnosťou umiestenia priamo v prevádzke spolu s moderným riadiacim systémom sa stávajú prakticky bezobslužné. Z hľadiska jednoduchej konštrukcie a údržby je aj vzduchom izolovaný, kovovo krytý distribučný rozvádzač UniGear typ ZS1. Jeho konfigurácia, výber spínacích prístrojov a kompletného prístrojového vybavenia celej odbočky nepredpokladá, že bude využívaný len k jednému účelu. Uvedené zariadenie bude tvoriť rozvodňu vysokého napätia, pre ktorú bude navrhnutý systém chránenia.

## 2 CIEĽ PRÁCE

Keďže vo vn rozvodniach sú okrem klasických prístrojových transformátorov prúdu a napätia presadzované elektronické prístrojové transformátory (senzory), cieľom je zahrnúť ich aj do praktického projektu pripojenia vn rozvodne do distribučnej siete a plné využitie ich výhod v systéme chránenia.

Diplomová práca bude obsahovať výpočet skratových pomerov, návrh systému chránenia v tejto rozvodni, výpočet a praktické nastavenie parametrov ochranných funkcií. V poslednej časti sa systém chránenia rozvodne otestuje prostredníctvom sekundárnych skúšok ochrán.

Rozvodňa je tvorená rozvádzačovým poľom UniGear typ ZS1, v ktorom sú osadené meracie prvky (kombinované senzory pre vnútorné použitie typu KEVCD A, napät'ové transformátory pre vnútorné prostredie typu TJP 6.x), spínacie prvky (vákuové vypínače VD4) a multifunkčné terminály chránenia a riadenia poľa rozvodne REF 542*plus* od spoločnosti ABB.

Na jednotlivé vývodové polia rozvádzačov budú pripojené typické záťaže v podobe výkonových transformátorov a vysokonapät'ových motorov.

## 3 CHRÁNENIE VN ROZVODNE POMOCOU SENZOROV A PRÍSTROJOVÝCH TRANSFORMÁTOROV

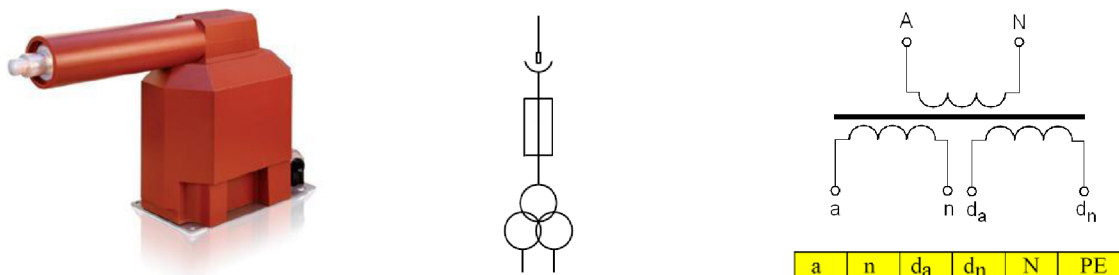
Kapitola zahŕňa základný popis elektronických prístrojových transformátorov (senzorov) a prístrojových transformátorov pre meranie prúdov a napätí. Tieto merané veličiny sú privádzané na analógové vstupy ochranného terminálu, ktorý prostredníctvom funkčných blokov ochranných funkcií a logiky chráni jednotlivé polia rozvodne.

### 3.1 Prístrojový transformátor a senzor

Primárne elektrické veličiny ako prúd, napätie prípadne výkon, majú pomerne široký rozsah hodnôt. Prúdové a napäťové systémy meracích, regulačných a istiacich prístrojov nie je žiaduce prispôbovať týmto veľkým rozsahom, a to najmä z dôvodov ekonomických a konštrukčných. Ďalším dôvodom je aj galvanické oddelenie silových obvodov vysokého napätia od obsluhy. Práve preto sa prístroje do elektrických obvodov zapájajú nepriamo prostredníctvom **prístrojových transformátorov**. Tieto sa delia na prístrojové transformátory **meracie** a **istiace**. Podľa transformovanej veličiny ich možno rozdeliť na [10]:

- *prístrojové transformátory prúdu* PTP – transformátory, ktoré majú v meracom rozsahu sekundárny prúd úmerný primárnemu prúdu. Oba prúdy sa môžu líšiť chybou amplitúdy a uhla v predpísanej tolerancii,
- *prístrojové transformátory napätia* PTN – transformátory, ktoré majú v meracom rozsahu sekundárne napätie úmerné primárnemu napätiu. Napätia sa môžu líšiť len chybou amplitúdy a uhla v predpísanej tolerancii,
- *prístrojové transformátory kombinované* – jeden konštrukčný celok obsahuje prístrojový transformátor napätia i prúdu.

Často používaným prístrojovým transformátorom napätia pre vnútorné použitie v rozvodniach vn je transformátor typu TJP 6.x (*Obr. 3-1*), zalievajú do epoxidového jantáru (pryskyrice). Tento typ obsahuje i poistku. Jeden vývod primárneho vinutia je izolovaný od zeme na úroveň odpovedajúcu menovitej izolačnej hladine. Druhý vývod tohto vinutia je pri prevádzke na svorku uzemnený. Väčšina transformátorov tohto typu obsahuje sekundárne vinutia dve. Prvé vinutie sa používa pre účely merania a istenia (svorky a - n), druhé má špecifickú funkciu (svorky  $d_a$  -  $d_n$ ) – zapája sa do otvoreného trojuholníka pre meranie netočivej zložky napätia (*Tab. 3-1*). Pri prevádzke je jedna svorka každého použitého sekundárneho vinutia a jedna zo svoriek spojenia do otvoreného trojuholníka uzemnená [12].

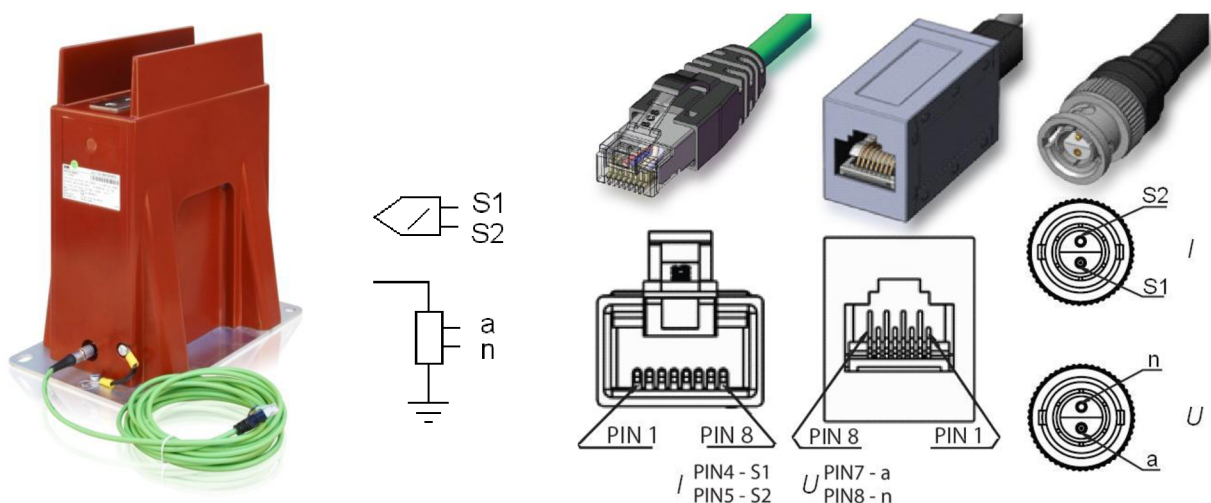


*Obr. 3-1 Prístrojový transformátor napätia typu TJP 6.x, schematická značka, vnútorné zapojenie a svorkovnica [12].*

Tab. 3-1 Štítkové údaje prístrojového transformátoru napätia typu TJP 6.x [12].

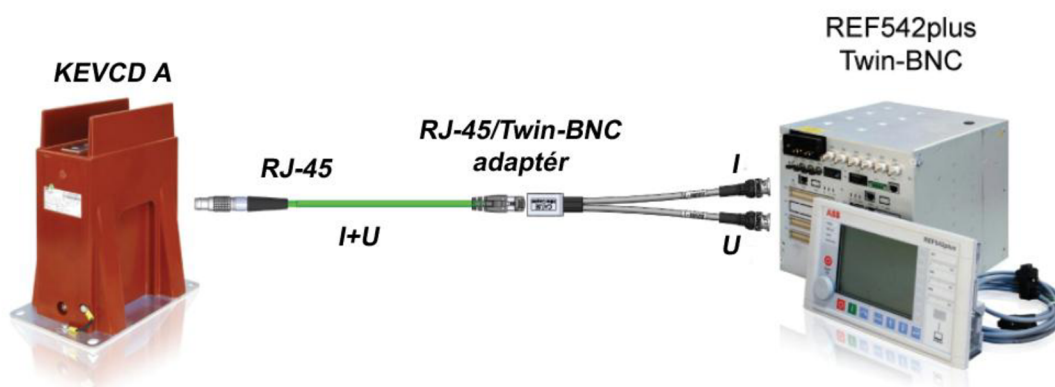
	napätie	presnosť	záťaž
	[V]	[-]	[VA]
sekundárne vinutie	100/ $\sqrt{3}$	0,2	10
pomocné vinutie	100/3	6P	50

**Elektronické prístrojové transformátory (senzory)** sú novým riešením v oblasti merania prúdov a napätí. Pre pokrytie trvalého merania primárnych prúdov v pomerne širokom rozsahu menovitých prúdov aplikácie a to od 4 A do 3200 A postačí iba malý počet senzorov (2 blokové typy senzorov – KEVCD A v rozsahu menovitých prúdov aplikácie 4 až 1250 A, KEVCD B v rozsahu 1250 až 3200 A, s ohľadom na menovitý trvalý tepelný prúd) [39]. **Napät'ový senzor** je v podstate odporový delič s veľkou rezistanciou (alebo kapacitný delič) s menovitým transformačným prevodom napätia napríklad 10 000 : 1 (prevod v jednotkách V/V). Výstupné napätie je úmerné vstupnému primárnemu napätiu v širokom meracom rozsahu. Keďže rovnako ako **prúdový senzor** nemá magnetický obvod, nemôže pri ňom dôjsť k presýteniu magnetického obvodu (lineárna charakteristika v celom svojom rozsahu). Meranie prúdu v senzorech spočíva na princípe Rogowského cievky. Ide o toroidnú cievku bez železného jadra, umiestenú okolo primárneho vodiča. Výstupný signál je v tomto prípade napätie, ktoré je úmerné derivácií okamžitej hodnoty meraného prúdu [10]. **Kombinovaný senzor** typu KEVCD A (znázornený na Obr. 3-2) predstavuje jeden konštrukčný celok, v ktorom je umiestený napät'ový (kontakty konektoru a - n) aj prúdový senzor (kontakty konektoru S1 - S2). Senzor sa môže použiť pre rôzne menovité napätia a prúdy rozvádzača (dané výrobcom), v ktorom je implementovaný. U prúdových senzorov je namiesto jednej hodnoty menovitého prúdu stanovený takzvaný menovitý prúdový rozsah, tento parameter však nelimituje jeho použitie v aplikáciách a to práve vďaka lineárnej charakteristike. Pre správnu funkciu sa musí zvolený menovitý prúd a menovitý transformačný prevod naprogramovať do ochranného a riadiaceho terminálu IED (*Intelligent Electrical Device*). Obdobne to platí aj pre menovitý napät'ový rozsah stanovený pre napät'ové senzory [13]. Pre nastavenie karty analógových vstupov by mala byť pre prúdový senzor zvolená jedna hodnota označená v [32] ako *Rated Primary Value (RPV)*, ktorá bude použitá ako menovitý prúd pri výpočte ochranných funkcií *In*. Tejto hodnote musí odpovedať aj príslušná hodnota *Rated Secondary Value (RSV)*.



Obr. 3-2 Kombinovaný senzor typu KEVCD A, schematické značky a zapojenie s konektormi typu RJ-45 a Twin-BNC [13], [14].

Sekundárne svorky z kombinovaného senzora sú prepojené s terminálom pomocou káblov a konektorového adaptéru RJ-45/Twin-BNC (Obr. 3-3). Senzor je dodávaný spoločne so sekundárnym káblom, s ktorým je odskúšaná funkčnosť a presnosť systému. Terminály z rodiny ochrán RED 500 sú už navrhnuté pre použitie senzorov, a sú tiež vybavené integrátormi pre vstupy senzorov Rogowského cievky (RC).



Obr. 3-3 Prepojenie senzoru KEVCD A s ochranným a riadiacim terminálom REF 542plus [14].

Z ekonomického hľadiska sú senzorové analógové vstupy ochrán navrhované pre meranie v preddefinovanom rozsahu. Pokiaľ je potrebné daný merací rozsah zvýšiť, je treba u niektorých ochrán použiť takzvaný prúdový adaptér (na Obr. 3-3), ktorý predstavuje presný napäťový delič (umožňuje vyšší transformačný prevod prúdového senzoru). U novších typov ochrán je toto prispôsobenie riešené nastavením parametrov v danej ochrane.

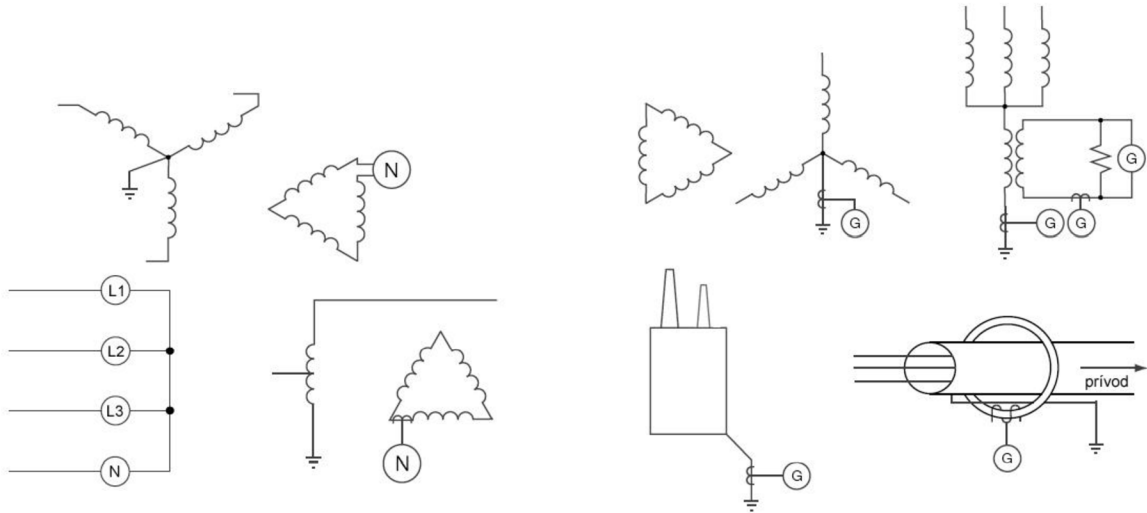
### 3.2 Typy ochranných funkcií v rozvodni vysokého napätia

Označovanie ochranných funkcií rieši norma ANSI/IEEE C37.2, v ktorej každé číslo predstavuje odpovedajúcu ochrannú funkciu (Príloha M). ANSI kódy ochranných funkcií a ich parametre pre ochranu REF 542plus zobrazuje Príloha L. Literatúra [2] dopĺňa niektoré často používané kódy, a to:

- kód 48: používaný pre ochranu proti dlhotrvajúcemu rozbehu motoru. Niekedy sa zamieňa s 51LR (nadprúdová ochrana pri zablokovanom motore – motor už je v prevádzke).
- kód 50: časovo nezávislá nadprúdová ochrana. Pri ochrannom termináli REF 542plus tiež s možnosťou zavedenia určitého časového oneskorenia. Reaguje na vysoké prúdy, typicky prúdy skratové.
- kód 51: časovo závislá nadprúdová ochrana. Reaguje na menšie prúdy (malé násobky prúdov menovitých), typickým predstaviteľom je preťaženie alebo skratové prúdy s vysokou impedanciou obvodu.

Podobné vysvetlenie číselných kódov je nutné aj pri ochranách pri vzniku zemného spojenia. Kód pre ochranu pri zemnom spojení 64 podľa IEEE C37-2 nie je možné použiť pre ochrany pripojené na výstup PTP v uzemnených sieťach, kde kód 51 musí byť doplnený písmenom N alebo G [2]. Význam písmen N a G uvádza Obr. 3-4 a ich popis je nasledovný:

- písmeno N: v prípade, že je ochrana pripojená cez PTP, ktoré merajú parametre fází a zmeraný vektorový súčet (napätia, prúdu) je posielaný na ochranu. Toto zapojenie sa používa pre meranie netočivej zložky (Holmgreenovo zapojenie).
- písmeno G: v prípade, že je ochrana pripojená priamo na výstup transformátora (prúdu alebo napätia), ktorý meria netočivé zložky (prúdu alebo napätia) priamo.



Obr. 3-4 Význam značenia číselných kódov ochrany pri zemnom spojení [2].

### 3.2.1 Zemné ochranné funkcie

Vonkajšie a káblové siete vysokého napätia sú prevádzkované najčastejšie ako izolované, kompenzované alebo uzemnené cez odpor. Spôsob uzemnenia neutrálneho bodu transformátora určuje, ako sa bude správať distribučná sieť počas zemnej poruchy. Distribučná sieť prevádzkovaná ako **nepriamo uzemnená pomocou zhášacej tlmivky** sa používa predovšetkým u zmiešaných sieťach, ale tento spôsob je možný aj pri sieti káblvej [4]. Z hľadiska bezpečnosti zemný poruchový prúd môže spôsobiť vznik nebezpečného napätia medzi zariadením s poruchou a zemou. Pre indikáciu zemnej poruchy v sieťach vn je podstatné meranie netočivých zložiek napätia  $U_{(0)}$  a prúdu  $I_{(0)}$  na jednotlivých vývodoch siete. Moderné mikroprocesorové ochrany si tieto hodnoty môžu dopočítať z merania fázových hodnôt napätí ( $U_{L1}$ ,  $U_{L2}$ ,  $U_{L3}$ ) pre  $U_{(0)}$  respektíve z merania fázových prúdov ( $I_{L1}$ ,  $I_{L2}$ ,  $I_{L3}$ ) pre  $I_{(0)}$ . Táto funkcia sa využíva predovšetkým vtedy, ak sú v systéme chránenia použité senzory (prúdu a napätia). Vychádza sa z teórie súmerných zložiek podľa Fortescua [10]

$$\bar{U}_{(0)} = \frac{1}{3} \cdot \bar{U}_{L1} + \bar{U}_{L2} + \bar{U}_{L3} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{V}, \text{V}] \quad (3.1)$$

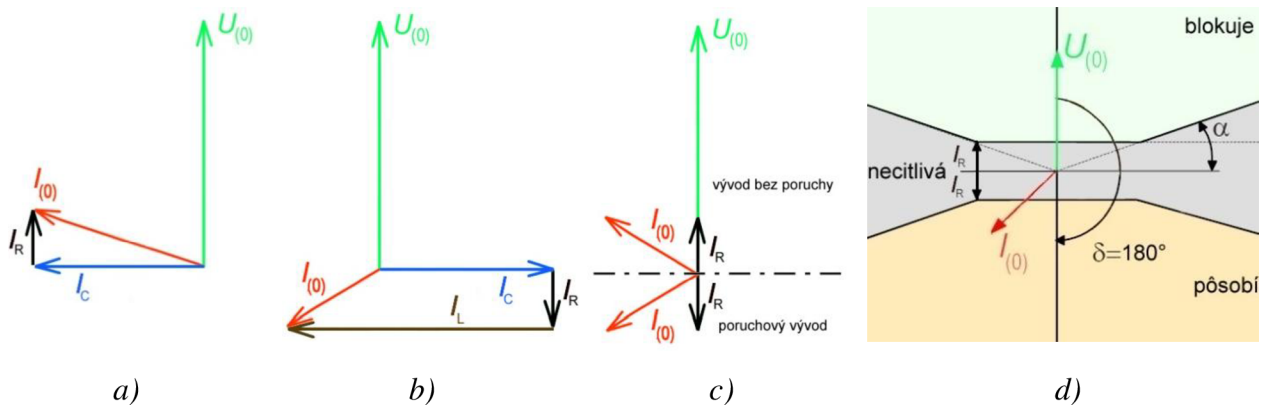
$$\bar{I}_{(0)} = \frac{1}{3} \cdot \bar{I}_{L1} + \bar{I}_{L2} + \bar{I}_{L3} \quad [\text{A}; \text{A}, \text{A}, \text{A}] \quad (3.2)$$

Vyladením zhášacej tlmivky na paralelnú rezonanciu voči zemnej kapacite vedenia sa docieli minimalizácia poruchového prúdu v mieste jednofázovej poruchy. Miestom poruchy preteká len zvyškový prúd činného charakteru (podľa [10] určený zvodovým prúdom a prúdmi vyšších harmonických, jeho hodnota približne 5 % celkového kapacitného prúdu siete [4]). Na tento zvyškový činný prúd reaguje ochranný terminál prostredníctvom ochrannej funkcie pracujúcej



na princípe wattového relé (meranie  $\cos \varphi$  medzi  $U_{(0)}$  a  $I_{(0)}$ ). Krátkodobé zvýšenie veľkosti činnnej zložky poruchového prúdu možno docieľiť pomocou odporu pripájaného k sekundárnemu vinutiu zhášacej tlmivky (čo zvyšuje spoľahlivosť **zemných smerových ochrán**), avšak za cenu poklesu netočivej zložky napätia  $U_{(0)}$  [4].

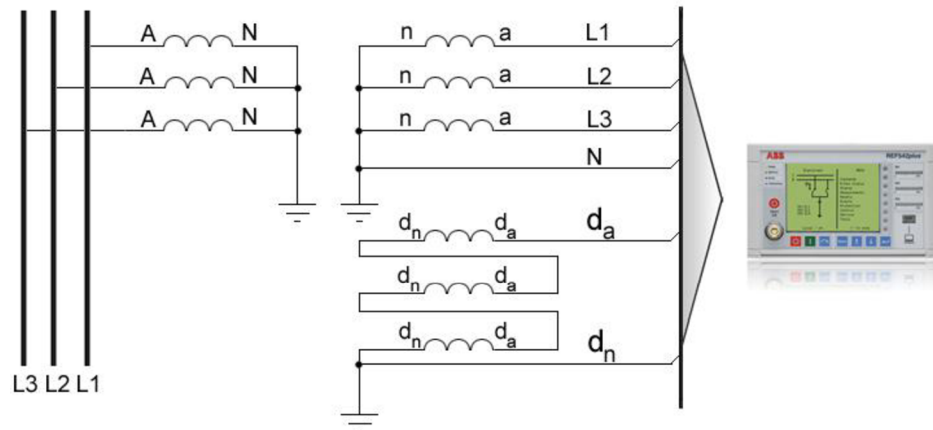
Smerová zemná ochrana vypočíta na základe merania fázových prúdov a fázových napätí hodnoty  $I_{(0)}$  a  $U_{(0)}$ , pričom dôležité je zistenie smeru toku výkonu (Obr. 3-5). Pri zemnom spojení v sieti (chránený vývod bez poruchy) Obr. 3-5 a) je činná zložka celkového prúdu  $I_R$  vo fáze s napätím  $U_{(0)}$ , avšak pri poruchovom vývode je v opačnom smere k smeru  $U_{(0)}$  podľa Obr. 3-5 b) ( $I_C$  kapacitný prúd,  $I_L$  je induktívny prúd spôsobený Petersenovou tlmivkou, fázor prúdu  $I_L$  zaostáva za fázorom  $-U_{(0)}$ ) [5]. Podľa smeru toku tohto výkonu tak možno určiť, ktorý z vývodov je poruchový Obr. 3-5 c). Ochranný terminál REF 542plus umožňuje nastavenie 3 typov sietí (isolated, earthed, compensated) pre smerové zemné chránenie (citlivé) a to pomocou uhlu  $\delta$  v rozmedzí  $-180^\circ$  až  $180^\circ$ , nastavenie prahových hodnôt  $U_{(0)}$ ,  $I_{(0)}$ , a uhlu  $\alpha$  (selektivita smeru). Ochrana pôsobí, keď sú splnené podmienky: prekročená hodnota nastaveného  $U_{(0)}$ , a  $I_{(0)}$  sa nachádza v oblasti pôsobenia [32]. Funkčný blok citlivej zemnej smerovej ochrany (kód 67S) sa v termináli REF 542plus môže použiť len vtedy, keď ochrana dostáva priame meranie zložky  $I_{(0)}$  ( $U_{(0)}$  môže byť počítaná).



Obr. 3-5 Princíp charakteristiky zemnej smerovej ochrany v systéme s kompenzovaným uzlom, vytvorené na základe [5], [32].

Primárne vinutia prístrojových transformátorov napätia PTN sú zapojené medzi fázový vodič a zem, ich menovité napätie je preto  $22\,000/\sqrt{3}$  V. Každý z použitých prístrojových transformátorov napätia TJP 6 má však dve sekundárne vinutia (Obr. 3-6). Hlavné sekundárne vinutie je zapojené do hviezdy, na výstupe tohto vinutia je fázová hodnota napätia  $100/\sqrt{3}$  V. Druhé sekundárne vinutia všetkých troch prístrojových transformátorov napätia sú spojené do trojuholníka. Menovité napätie každého tohto vinutia je  $100/3$  V. Uzol primárneho a sekundárneho vinutia je uzemnený. Na svorky otvoreného trojuholníka sa pripája prepäťová zemná ochrana  $U_{(0)}$ . Pri normálnej prevádzke je napätie na svorkách otvoreného trojuholníka  $U_D$  teoreticky rovno nule (3.3), v skutočnosti sa jedná o napätie asi 2 – 3 %  $U_n$  (vplyvom nesymetrie fázových napätí siete, uhlovej a amplitúdovej chyby použitých transformátorov napätia, vyšších harmonických [10])

$$\bar{U}_D = \bar{U}_{L1} + \bar{U}_{L2} + \bar{U}_{L3} = \bar{U}_{(1)} + a^{-2} \bar{U}_{(1)} + a \bar{U}_{(1)} = 0 \text{ V} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{V}, \text{V}] \quad (3.3)$$



Obr. 3-6 Zapojenie jednopólovo izolovaných prístrojových transformátorov napätia ako filter na netočivú zložku napätia, vytvorené na základe [10].

Pri nesymetrickej poruche v sieti vzniká na výstupe otvoreného trojuholníka napätie

$$\begin{aligned} \bar{U}_D = \bar{U}_{L1} + \bar{U}_{L2} + \bar{U}_{L3} = \bar{U}_{(1)} + \bar{U}_{(2)} + \bar{U}_{(0)} + \bar{a}^{-2} \bar{U}_{(1)} + \bar{a} \bar{U}_{(2)} + \bar{U}_{(0)} + \\ + \bar{a} \bar{U}_{(1)} + \bar{a}^{-2} \bar{U}_{(2)} + \bar{U}_{(0)} = 3 \bar{U}_{(0)} \end{aligned} \quad [\text{V}; \text{V}, \text{V}, \text{V}] \quad (3.4)$$

čo znamená, že ak sú sekundárne vinutia prístrojových transformátorov napätia spojené do otvoreného trojuholníka, tak pôsobia ako filter na netočivú zložku napätia  $3 \cdot U_{(0)}$  (pre identifikáciu zemných porúch).

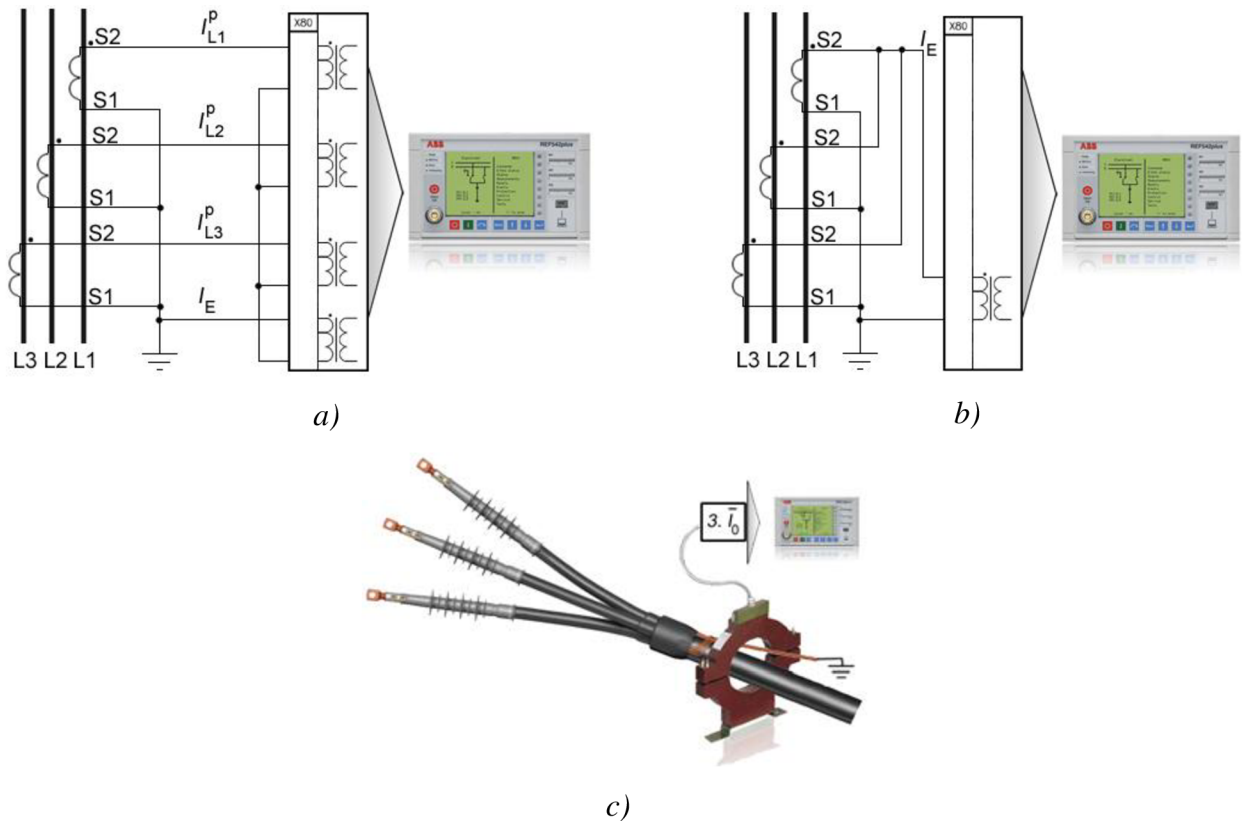
Najpoužívanejšími zapojeniami pre meranie netočivej zložky prúdu  $I_{(0)}$  sú zapojenie prístrojových transformátorov prúdu do úplnej hviezdy *a*), súčtové zapojenie prístrojových transformátorov prúdu - Holmgreenovo zapojenie *b*), a priame meranie z násuvného súčtového transformátora *c*) [10], podľa Obr. 3-7. Pri prvom spomenutom zapojení sú sekundárne vinutia prístrojových transformátorov prúdu zapojené do hviezdy. V normálnej prevádzke pretekajú cez prúdové členy ochrany prúdu tak, že spätným vodičom do uzla transformátorov prúdu tečie malý prúd  $I_E$  (tento prúd závisí od nesymetrie kapacít fázových vodičov)

$$\bar{I}_E = \bar{I}_{L1}^p + \bar{I}_{L2}^p + \bar{I}_{L3}^p \rightarrow 0 \text{ A} \quad [\text{A}; \text{A}, \text{A}, \text{A}] \quad (3.5)$$

Pri nesymetrických poruchách, pri ktorých sa vyvinie netočivá zložka prúdu, spätným vodičom bude podľa Obr. 3-7 *a*) pretekať prúd

$$\bar{I}_E = \bar{I}_{L1}^p + \bar{I}_{L2}^p + \bar{I}_{L3}^p = 3 \bar{I}_{(0)} \quad [\text{A}; \text{A}, \text{A}, \text{A}] \quad (3.6)$$

a teda zapojenie prístrojových transformátorov prúdu do úplnej hviezdy spolu s relé v spätnom vodiči v prípade *a*) vytvára filter netočivej zložky prúdu [10].



Obr. 3-7 Zapojenie prístrojových transformátorov prúdu ako filter na netočivú zložku prúdu a), b), priame meranie z násuvného súčtového transformátora c), vytvorené na základe [10], [17].

Súčtové zapojenie prístrojových transformátorov prúdu b) v Obr. 3-7 možno použiť na identifikáciu zemných spojení, a tiež pôsobí ako filter na netočivú zložku prúdu. Ďalej sa používa takzvaný **sčítavací transformátor c)** podľa Obr. 3-7, ktorý sčítava toky od primárnych prúdov fází L1, L2 a L3 tečúcich do jadra násuvného transformátora. Výsledný magnetický tok je úmerný  $3 \cdot I_{(0)}$ . Ak má kábel kovový plášť, je potrebné uzemnenie káblovej koncovky urobiť podľa Obr. 3-7 c).

### 3.2.2 Rozdielová ochrana

Rozdielová (diferenciálna) ochrana je veľmi citlivou a selektívnou ochranou. Chráneným objektom na Obr. 3-8 môže byť transformátor, generátor, vedenie alebo motor s veľkým výkonom. Táto ochrana porovnáva fázory prúdov, ktoré tečú do chráneného objektu  $I_{1p}$ , s prúdmi ktoré z neho vytekajú  $I_{2p}$ . Ak by došlo k poruche (skratu) mimo chránený objekt, rozdielový prúd  $I_d >$  bude minimálny a ochrana pôsobiť nebude. Naopak, ak sa porucha vyskytne na chránenom objekte, vyvolá veľký rozdielový prúd  $I_d >$  a ochrana okamžite pôsobí na vypínače. Pre správne pôsobenie rozdielovej ochrany je nevyhnutné získať presnú a ničím neskreslenú informáciu o aktuálnom priebehu prúdov z prístrojových transformátorov nielen v ustálenom stave, ale aj pri prechodových dejoch.

**Pri zapojení rozdielovej ochrany s konvenčnými prístrojovými transformátormi prúdu** sa musí počítať s niektorými činiteľmi ako je napríklad to, že sa nedá dosiahnuť úplná rovnosť sekundárnych prúdov  $I_{1s}$  a  $I_{2s}$ . Ďalším činiteľom, s ktorým sa musí počítať, je chránenie transformátora s prepínačom odbočiek. Na Obr. 3-8 a) sú znázornené niektoré príčiny vzniku rozdielového prúdu počas normálnej prevádzky transformátora, ako aj rezerva (oblasť V. – kvôli

možnému presýteniu prístrojových transformátorov so značným obsahom harmonických pri poruchách, kde tečú veľké prúdy, pričom prevláda tretia harmonická [10]). Ide o chyby prevodov (skutočný prevod nie je rovný prevodu menovitému, tieto chyby môže digitálna ochrana vykompenzovať) v oblasti II., chyby prístrojových transformátorov prúdu (oblasť III. – nepresnosť merania PTP), a prepínanie odbočiek transformátora (oblasť IV.).

Charakteristika rozdielovej ochrany má za úlohu zaistiť vysokú citlivosť pri malých prúdoch, aby zachytila už vznikajúcu poruchu na chránenom zariadení. Ďalej v prípade vysokých skratov mimo chráneného zariadenia, kedy môžu byť PTP na hranici presýtenia, je potrebné naopak citlivosť diferenciálneho stupňa znížiť. Ochrana má tak špecifickú charakteristiku Obr. 3-8 a), ktorá plynule so zvyšujúcim sa prechádzajúcim prúdom znižuje citlivosť na rozdielový prúd [40]. Podľa tejto charakteristiky sú navrhované aj funkčné bloky mikroprocesorových ochrán.

Vo vypínacej charakteristike rozdielovej ochrany je na zvislej osi rozdielový (diferenciálny) prúd  $I_d$ , na vodorovnej osi je prúd stabilizačný (blokovací)  $I_b$ . Charakteristika má buď jeden alebo dva body zlomu. Prvý bod zlomu má súradnice  $[I_{b0}, I_{d0}]$ , druhý bod zlomu má súradnice  $[I_{b1}, I_{d1}]$ . Sklon charakteristiky možno podľa nastavenia meniť. Podľa [32] je charakteristika na Obr. 3-8 rozdelená na tri oblasti (zlomy charakteristiky), pričom oblasť A je určená pre malé prúdové zaťaženie chráneného objektu (*unbiased region*), oblasť B pre normálne až stredne ťažké zaťaženie chráneného objektu (*slightly biased region*) a oblasť C pre veľmi ťažké zaťaženia (*heavily biased region*).

Rozdielový prúd  $I_d$  je určený ako rozdiel fázorov sekundárnych prúdov PTP základnej harmonickej [31]

$$I_d = |\bar{I}_{1s} - \bar{I}_{2s}| \quad [A; A, A] \quad (3.7)$$

Stabilizačný prúd  $I_b$  je určovaný rôzne (v závislosti od výrobcu ochrany). Podľa [31] ho možno určiť ako

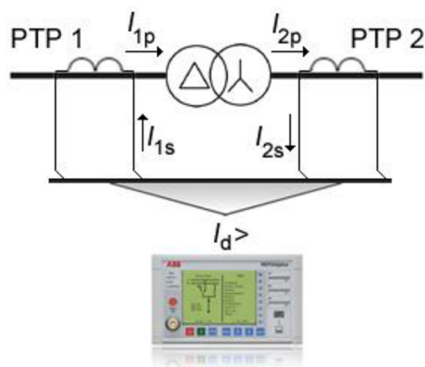
$$I_b = \frac{|\bar{I}_{1s} + \bar{I}_{2s}|}{2} \quad [A; A, A] \quad (3.8)$$

kde  $\bar{I}_{1s}$  je fázor prúdu na sekundárnej strane PTP 1,  $\bar{I}_{2s}$  je fázor prúdu na sekundárnej strane PTP 2.

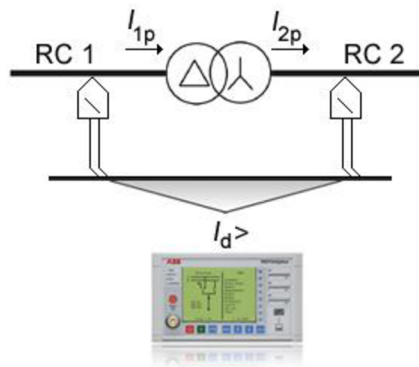
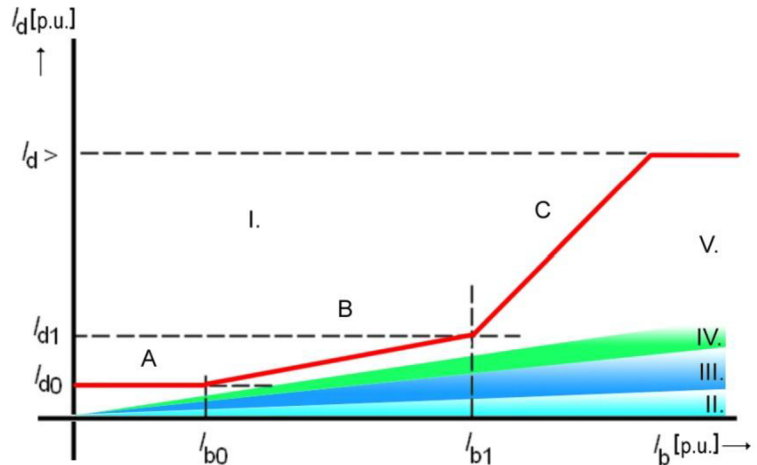
**Pri zapojení rozdielovej ochrany s elektronickými prístrojovými transformátormi** však chyby z oblastí II., III. a V. odpadajú (senzor neobsahuje feromagnetické jadro, takže nemôže dôjsť k jeho presýteniu). Aj keď senzory majú určitú celkovú amplitúdovú (a fázovú) relatívnu chybu prevodu prúdu (príčinou sú výrobné tolerancie), možno túto chybu eliminovať. Výrobná tolerancia je braná v úvahu pri nastavovaní analógových vstupov v ochrane prostredníctvom kalibračných faktorov (*Calibration Factors - Amplitude*), teda chyba amplitúdy.

Vypínacia charakteristika má opäť na zvislej osi rozdielový prúd  $I_d$ , na vodorovnej osi stabilizačný (blokovací) prúd  $I_b$ . Rozdielová ochrana je podobne ako v predchádzajúcom prípade nastavená na hodnotu  $I_{d0}$ , a teda nebude pôsobiť, ak rozdielový prúd  $I_d >$  neprekročí nastavenú rozbehovú hodnotu (oblasť pod červenou vypínacou charakteristikou). Ochrana naopak pôsobí v oblasti I. (nad červenou krivkou na Obr. 3-8 b)). Vypínacia charakteristika by mohla v ideálnom prípade byť takmer rovnobežná s osou  $I_b$  (potrebné uvažovať oblasť IV. prepínanie odbočiek transformátora), avšak s nastavením funkčného bloku rozdielovej ochrany v termináli

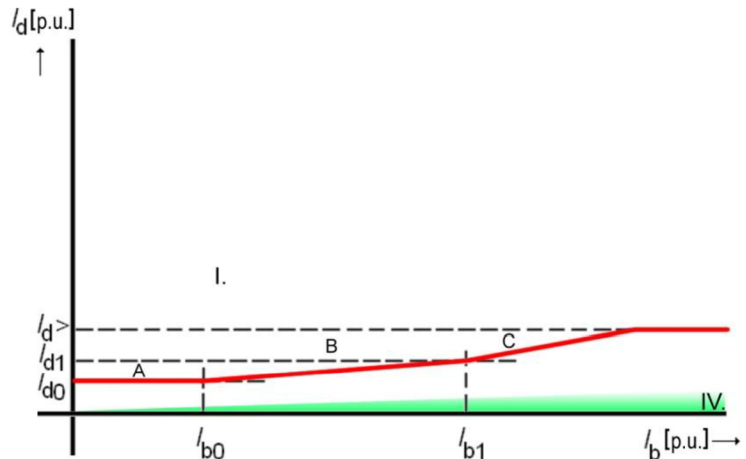
REF 542plus to nemožno docieľiť (definuje spomínané oblasti A, B a C z konvenčného princípu chránenia rozdielovou ochranou s použitím prístrojových transformátorov prúdu). Preto pri použití senzorov nie je potrebné uvažovať takú rezervu v nastavení parametrov rozdielovej ochrany, ako pri použití PTP.



a) použitie prístrojových transformátorov prúdu (PTP)



b) použitie elektronických prístrojových transformátorov prúdu – senzorov (RC)



Obr. 3-8 Porovnanie vypínacích charakteristík rozdielovej ochrany.

### 3.2.2.1 Blokovanie rozdielovej ochrany pri zapínanom ráze

Magnetizačný náraz pri zapnutí transformátora a náraz vyplývajúci z obnovenia napätia pri vypnutí vonkajšej poruchy môžu dosiahnuť veľmi veľkej hodnoty. Keďže tieto nárazové prúdy (*inrush currents*) tečú len v primárnom vinutí transformátora (spôsobujú značný rozdielový prúd), zapínaní ráz pôsobí na rozdielovú ochranu ako vnútorná porucha [10]. Preto sa pre jej správnu funkciu obstaráva blokovanie pri zapínanom ráze. Blokovanie možno urobiť v zásade dvoma spôsobmi a to [10]

- časovým oneskorením pôsobenia rozdielovej ochrany – vzhľadom na to, že rozdielová ochrana má pôsobiť v čo najkratšom čase, oneskorenie nie je žiaduce,
- filtrom na druhú harmonickú – podľa rozboru časového priebehu magnetizačného prúdového rázu možno zistiť, že obsahuje značnú druhú harmonickú.

Rozdielový prúd je v ochrane filtrovaný cez pásmový priepustný filter základnej harmonickej, a vytvára pre ňu štartovací prúd. Rozdielový prúd prechádzajúci cez druhý blokovací filter základnej harmonickej, ktorý prepustí všetko okrem základnej harmonickej,

poskytuje signál na harmonické blokovanie. Keďže pri vnútorných poruchách môže dôjsť k saturácii prúdových transformátorov, harmonická obmedzovacia funkcia využívajúca blokovanie všetkých harmonických, môže byť nebezpečná. Saturované prístrojové transformátory prúdu podľa [10] produkujú tretiu harmonickú v prúde, ktorá má počas vnútorných porúch dostačujúcu veľkosť na blokovanie ochrany. Toto blokovanie by však mohlo spôsobiť haváriu transformátora. Preto sa na obmedzenie používa **druhá a piata harmonická**. Ochrana je teda blokována počas prúdových nárazov druhou harmonickou a počas prebudenia piatou harmonickou, ale nie je blokována treťou harmonickou produkovanou počas vnútorných porúch saturovanými prúdovými transformátormi [10].

Podľa [31] sa pre blokovanie rozdielovej ochrany pri zapínanom ráze používa detekcia druhej harmonickej pri nastavení 15 až 20 %  $I_d$ . Pri piatej harmonickej sa používa nastavenie medzi 20 až 30 %  $I_d$ .

### 3.2.3 Nadprúdová ochrana

Nadprúdové ochrany nabiehajú pri prúdovom preťažení alebo pri skrate. Používajú sa pre chránenie elektrických strojov, vedení a prípadne ako ochrany záložné. Nadprúdové ochrany reagujú na prekročenie nastavenej hodnoty rozbehového prúdu na ochrane a pri jej prekročení dávajú povel k vypnutiu. Podľa [4] **časovo závislé ochrany** vo väčšine prípadov používajú charakteristiky typu IDMT (*Inverse Definite Minimum Time*), pri ktorých je vypínací čas stupňa funkciou prúdu. Závislosť je taká, že čím vyšší je meraný prúd ochranou, tým kratší je vypínací čas. Ich výhodou je skutočnosť, že skracujú dobu vypnutia pri skrate na začiatku radiálneho vedenia a teda skraty bližšie k zdroju budú vypnuté v kratšom čase. Vzťah medzi prúdom a časom udávajú normy IEC 255-4, BS 142.1966 a určuje ho rovnica [4]

$$t = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I_\infty}\right)^\alpha - 1} \quad [\text{s}; -, -, \text{A}, \text{A}, -] \quad (3.9)$$

kde  $t$  je teoretický vypínací čas ochrany,  $k$  násobiaci časový faktor (0,05 až 1,0),  $I$  meraná hodnota prúdu ochranou,  $I_\infty$  nastavená popudová (medzná) hodnota prúdu,  $\alpha, \beta$  konštanty určujúce stupeň inverzie (strmost') IDMT charakteristiky podľa Tab. 3-2.

Tab. 3-2 Konštanty určujúce stupeň inverzie IDMT charakteristik [4].

typ IDMT charakteristiky		$\alpha$	$\beta$
normálne inverzná	normal inverse	0,02	0,14
veľmi inverzná	very inverse	1,00	13,50
extrémne inverzná	extremely inverse	2,00	80,00
dlhodobo inverzná	longtime inverse	1,00	120,00

Vo vypínacích charakteristikách sa udávajú krivky  $t = f(k, I/I_\infty)$ . Zaručený pracovný rozsah týchto ochrán je minimálne od 1,3  $I/I_\infty$ , a rozsah, v ktorom je zaručovaná presnosť, býva 2 až 20  $I/I_\infty$ . Presnosť je udávaná buď graficky krivkami minimálnej a maximálnej medze chýb v závislosti na  $I/I_\infty$ , alebo tabuľkou pre  $I/I_\infty = 2, 5, 10$  a 20 [29].

Ak je potrebné, aby ochrana osobitne nabiehala na prúdové preťaženie a osobitne na skraty, potom stupne ochrany je potrebné nastaviť na rôzne rozbehové prúdy a rôzne vypínacie časy. **Ochrana na prúdové preťaženie** sa nastavuje na nižší rozbehový prúd (1,1 až 1,15 násobok menovitého prúdu chráneného zariadenia [10]) a dlhší vypínací čas. Naopak **skratová ochrana**

sa nastaví na vyšší rozbehový prúd a kratší čas pôsobenia. Ďalej pre dosiahnutie selektívneho a spoľahlivého pôsobenia ochrán v sústave sa nadprúdové ochrany časovo odstupňujú smerom k zdroju (**časový koordinačný interval** býva podľa [10] v rozmedzí **0,2 s** až 0,5 s). S časovým odstupňovaním sa začína od najvzdialenejšieho konca voči zdroju s časom 0 s (v skutočnosti je tento čas niekoľko 10 ms, čo predstavuje čas výkonového vypínača a čas pôsobenia ochrany).

Pri praktickom nastavení rozbehových prúdov na nadprúdových časovo nezávislých ochránach v distribučných sieťach vychádzame z nasledujúcich skutočností. Pri nastavení **nadprúdových ochrán na prúdové preťaženie** sa vychádza zo vzťahu (3.10) [4], [29]

$$I_{2r} \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_i} \quad [A; -, A, -, -] \quad (3.10)$$

kde  $I_{2r}$  je rozbehová hodnota prúdu ochrany,  $k_b$  koeficient bezpečnosti (1,1 až 1,35; 1,05 pre ochrany použité iba pre signalizáciu preťaženia obsluhu; 1,2 pre ochrany elektrických motorov),  $I_n$  dovolené prúdové zaťaženie chráneného zariadenia (alebo menovitý primárny prúd chráneného zariadenia s odblokovaním pôsobenia pri poklese napätia),  $k_p$  prídržný pomer (udáva ho výrobca ochrany, pri digitálnych ochránach v rozmedzí 0,85 až 0,95),  $p_i$  prevod istiaceho transformátoru prúdu [4], [29].

Je nutné však splniť aj podmienku **minimálnych skratov pri nastavení nadprúdovej ochrany** [4], [29]

$$I_{2r} \leq \frac{I_{kmin(L1-L2)}''}{k_c \cdot p_i} \quad [A; A, -, -] \quad (3.11)$$

kde  $I_{2r}$  je rozbehová hodnota prúdu ochrany,  $I_{kmin(L1-L2)}''$  najmenší skratový prúd pri skrate na konci chráneného úseku,  $k_c$  koeficient citlivosti (pre digitálne ochrany 1,2 [29]),  $p_i$  prevod istiaceho transformátoru prúdu.

Pretože nie všetky skraty sú trojpólové, odporúča [4] skrat prepočítať na dvojpólový  $I_{kmin(L1-L2)}''$ , ktorý je menší než trojpólový  $I_{kmin}''$  pomocou vzťahu

$$I_{kmin(L1-L2)}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{kmin}'' \quad [A; A] \quad (3.12)$$

Ďalším predpokladom, ktorý musí spĺňať nastavenie skratovej ochrany, je **skratové nastavenie ochrany**  $I_{2r}$  vyššie než je rozbehový prúd asynchrónnych motorov  $I_{LR}$

$$I_{2r} \geq \frac{k_b \cdot I_{LR}}{k_p \cdot p_i} \quad [A; A] \quad (3.13)$$

kde význam veličín  $k_b$ ,  $k_p$ , a  $p_i$  je rovnaký ako pri vzťahu (3.8).

Pri skratových ochránach sa používa takzvané **podpäťové blokovanie** [29]. Nastavenie napäťovej ochrany pre odblokovanie nadprúdovej skratovej ochrany sa určí zo vzťahu

$$U_{2r} \leq \frac{U_{min} \cdot k_p}{k_b \cdot p_u} \quad [V; V, -, -, -] \quad (3.14)$$

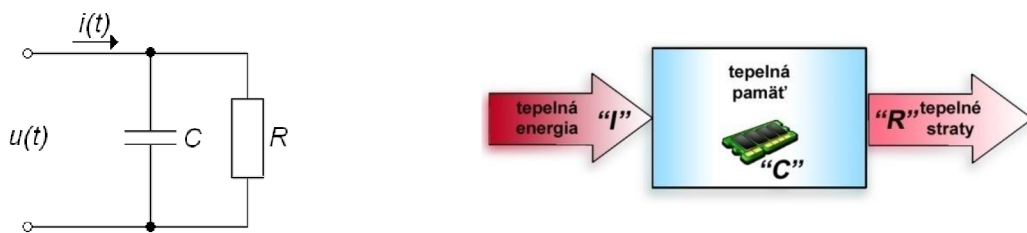
kde  $U_{2r}$  je rozbehová hodnota napätia ochrany,  $U_{\min}$  najnižšie možné prevádzkové združené napätie v mieste ochrany,  $k_p$  prídržný pomer,  $k_b$  koeficient bezpečnosti,  $p_u$  prevod napäťového transformátora.

Pre zamedzenie pôsobenia ochrany pri samonabíhaní elektrických motorov a pri asynchrónnom chode generátorov pripúšťa [29] hodnoty  $U_{2r} = (0,5 \text{ až } 0,6) \cdot U_n$  pri ochranách transformátorov vlastnej spotreby a  $U_{2r} = (0,65 \text{ až } 0,85) \cdot U_n$  pri ochranách generátorov.

### 3.2.4 Tepelná ochrana

Je základnou funkciou motorovej ochrany<sup>1</sup>, [28] ju odporúča použiť pri chránení sieťových transformátorov od výkonu 25 MVA. Zariadenie chráni proti prúdovému preťaženiu. V prípade motora, by mala na základe prúdu tečúceho statorovým vinutím určiť oteplenie vinutia a rozhodnúť, či dosiahnutá teplota spĺňa maximálnu dovolenú teplotu izolácie. Jej prekročenie znamená výrazné skrátenie životnosti motora.

Princíp chránenia motora pred tepelnými účinkami vychádza z predpokladu, že motor je tepelná sústava, ktorú možno nahradiť elektrickým modelom podľa Obr. 3-9. Motor sa po pripojení na napätie  $u(t)$  rozbieha a ohrieva so stratovým výkonom podľa veľkosti pretekajúceho prúdu  $i(t)$  s časovou konštantou  $\tau$  (predstavuje časovú konštantu motora). Táto je daná tepelnou kapacitou stroja  $C$  a tepelnými stratami reprezentujúcimi rezistorom  $R$ .

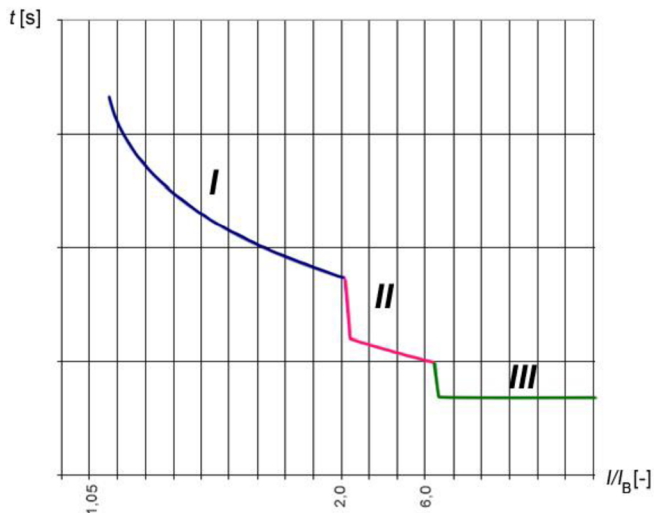


Obr. 3-9 Schéma pre určenie teploty motora.

Výrobca motora volí túto celotelesovú konštantu v rozmedzí hodnôt od 30 do 80 minút [4]. Pri menovitom zaťažení motora dosiahne jeho teplota zo studeného stavu za  $1 \times \tau$  63 % maximálnej hodnoty a približne za  $5 \times \tau$  sa teplota ustáli na menovitej hodnote. Pre bežné riešenie tepelného modelu sa používajú 3 časové konštanty, v závislosti na aktuálnom prúde motora. Túto skutočnosť ako príklad možno vidieť na zaťažovacej (ampérsekundovej) charakteristike motora na Obr. 3-10. Prvá konštantu (konštantu pre chod motora) je používaná pre rozsah prúdu 0,1 až 2-násobok menovitého prúdu, pri prúde väčšom ako je dvojnásobok menovitého prúdu sa uplatňuje druhá konštantu (konštantu pre rozbeh motora). Posledná konštantu modeluje ochladzovanie stojaceho motora [4].

<sup>1</sup> pod pojmom motorová ochrana sa rozumie vždy celý súbor ochrán, medzi ktoré patrí napríklad skratová ochrana, tepelný model, ochrana rozbehu motora, ochrana pri nesymetrii a zemná ochrana. Môže sa doplniť o ochranu pri podpätí, počítadlo počtu štartov za hodinu a iné.





oblasť I – predstavuje chránenie motora proti preťaženiu (funkcia tepelnej ochrany – *thermal overload protection 49*),

oblasť II – oblasť pre rozbeh motora, ktorá definuje povolenú dobu rozbehu (funkcia kontroly rozbehu motora – *motor start protection 48*),

oblasť III – popisuje správanie sa pri zablokovanom rotore (funkcia kontroly rotoru – *rotor block protection 51LR*)

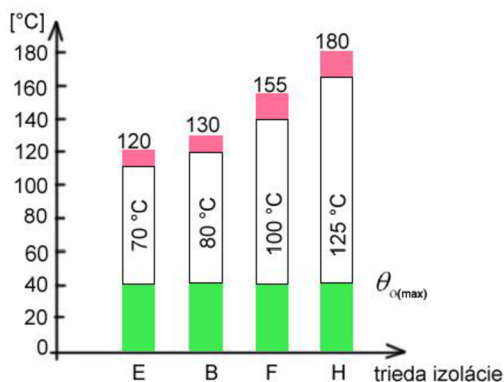
$I$  záťažný prúd motora,  $I_B$  vzťažný prúd motora (väčšinou prúd menovitý)

Obr. 3-10 Zaťažovacia charakteristika motora [33].

Všeobecne dôležitým údajom o elektrickom motore je **trieda tepelnej stálosti jeho izolácie**. Podľa najvyššej dovolenej teploty sa rozdeľujú izolanty do tried A, E, B, F, H (Tab. 3-3). Často používané motory s triedou izolácie F, pri zaťažení podľa štítkových hodnôt, dosahujú oteplenie triedy B. Ďalej tieto motory sú konštruované na teplotu okolia 40 °C [23], [4]. V tuzemských podmienkach však môžeme uvažovať s maximálnou teplotou okolia 30 °C (rozdiel teplôt 40 °C mínus 30 °C je 10 °C), čím možno znížiť menovitú teplotu motora na 120 °C podľa Obr. 3-11 (maximálna povolená teplota pre triedu F 155 °C mínus maximálna povolená teplota pre triedu B 130 °C je 25 °C). Týmto príkladom sa rozdiel teplôt z menovitej po maximálnu hodnotu pre triedu F zvýši na 35 °C (10 °C + 25 °C). Uvedeného možno použiť pri riešení modelu zapnutia motora z teplého stavu.

Tab. 3-3 Triedy izolácií a odpovedajúce teploty, vytvorené na základe [4].

trieda izolácie	teplota [°C]
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180



zelená – teplota okolia  $\theta_0$

biela – maximálny možný nárast teploty (*temperature rise class*)

červená – teplotný limit pre triedu izolácie

Obr. 3-11 Vzťah medzi teplotou a triedou izolácie, vytvorené na základe [29], [4].

Dobu do vypnutia (čas pôsobenia) tepelnej ochrany  $t$  vyjadruje vzťah [29], [4]

$$t = \tau \cdot \ln \frac{\left(\frac{I}{I_{rM}}\right)^2 - \frac{\theta - \theta_o}{\theta_{rM} - \theta_o}}{\left(\frac{I}{I_{rM}}\right)^2 - \frac{\theta_l - \theta_o}{\theta_{rM} - \theta_o}} \quad [s; s, A, A, ^\circ C, ^\circ C, ^\circ C, ^\circ C, A, A, ^\circ C, ^\circ C, ^\circ C, ^\circ C] \quad (3.15)$$

kde  $\tau$  je časová konštanta,  $I$  skutočný záťažný prúd motora,  $I_{rM}$  menovitá hodnota prúdu motora,  $\theta$  teplota z predchádzajúceho stavu,  $\theta_o$  teplota okolia,  $\theta_{rM}$  menovitá teplota motora (pri zaťažení menovitým prúdom),  $\theta_l$  teplota motora dosiahnutá pri určitom vypínanom čase.

Norma IEC 60255-8 definuje tepelné ochrany ako ochrany, ktoré chránia zariadenie pred elektrickým tepelným poškodením meraním prúdu pretekajúcim týmto zariadením. Ďalej upravuje rovnicu (3.15) na tvar [33]

$$t = \tau \cdot \ln \frac{I^2 - I_p^2}{I^2 - k \cdot I_B^2} \quad [s; s, A, A, A, -, A] \quad (3.16)$$

kde  $\tau$  je časová konštanta,  $I$  záťažný prúd motora,  $I_p$  prúd motora pred vznikom preťaženia,  $I_B$  vzťažný prúd (u tepelnej ochrany motora má byť v rozsahu 0,8 až 1,1  $I_{rM}$  [29]),  $k$  konštanta vyjadrujúca preťaženie (býva v rozmedzí 1 až 1,2 [33]) a možno ju určiť ako [33]

$$k = \sqrt{\frac{\theta_l - \theta_o}{\theta_{rM} - \theta_o}} \quad [-; ^\circ C, ^\circ C, ^\circ C, ^\circ C] \quad (3.17)$$

kde význam jednotlivých veličín je rovnaký ako vo vzťahu (3.15). Pre určenie tejto konštanty a nastavenie ochrannej funkcie tepelnej ochrany sa uvádzajú tabuľky, v ktorých je uvedená závislosť maximálnej dovolenej teploty pre danú triedu izolácie a teplotnej triede a to pri normálnej prevádzke (Tab. 3-4) a počas krátkodobého preťaženia (Tab. 3-5).

Tab. 3-4 Maximálna teplota prehriatia v  $^\circ C$  počas normálnej prevádzky pri  $40^\circ C$  teplote okolia [33].

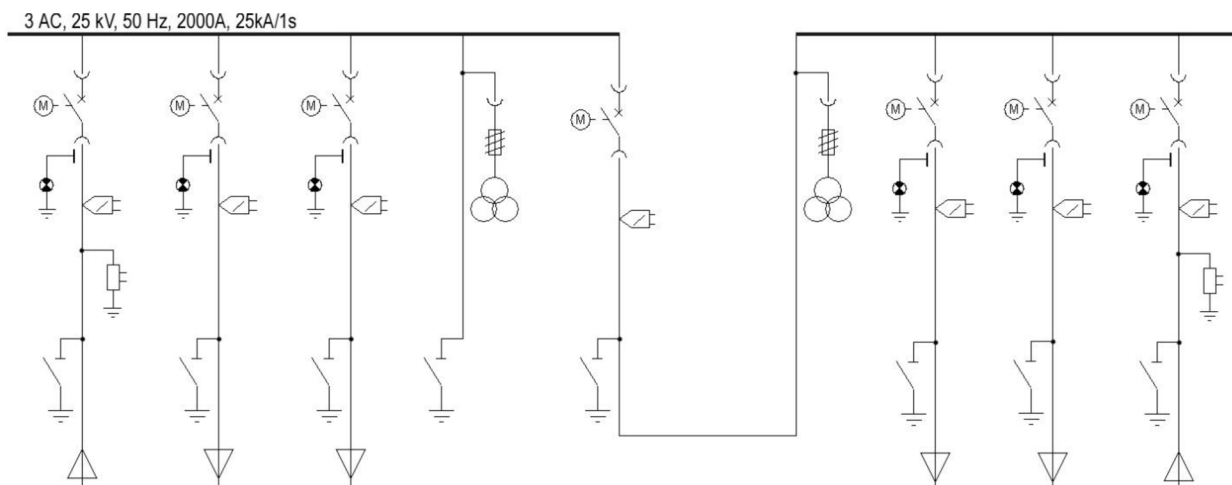
trieda izolácie	teplotná trieda					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
A	50	50	50	50	50	40
E	65	65	65	65	65	40
B	70	70	70	70	70	40
F	90	90	90	90	55	40
H	115	115	115	90	55	40

Tab. 3-5 Maximálna teplota prehriatia v  $^\circ C$  počas krátkodobého preťaženia pri  $40^\circ C$  teplote okolia [33].

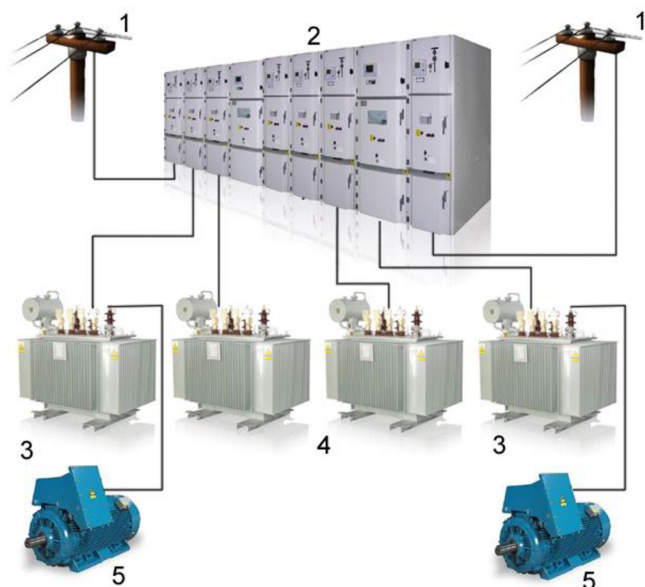
trieda izolácie	teplotná trieda					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
A	120	120	120	90	55	40
E	135	135	135	90	55	40
B	145	145	145	90	55	40
F	170	170	155	90	55	40
H	195	195	155	90	55	40

## 4 PRIPOJENIE VN ROZVODNE DO DISTRIBUČNEJ SIETE

Rozvodňa vn obsahuje 2 prívodné polia napájané z distribučnej siete 22 kV. Každé prívodné pole napája prípojnice, na ktoré sú pripojené 2 vývodové polia (vývod na transformátor 22/0,42 kV, a vývod na transformátor 22/6 kV – ten napája asynchrónny motor vn). Medzi hlavnými prípojnicami sa nachádza spojka, ktorá v prípade potreby (revízia, porucha na jednom prívode) napája aj susedné prípojnice a rozdeľuje rozvodňu na 2 sekcie. Rozvodňu jedнопólovo zobrazuje Obr. 4-1 a) a prepojenie zariadení rozvodne s distribučnou sieťou zobrazuje Obr. 4-1 b).



a)



- 1 – pripojovacie miesto rozvodne (rovnaké pre obe je trafostanica ABB č. 2971)
- 2 – rozvádzač UniGear typ ZS1
- 3 – transformátor 22/6 kV
- 4 – transformátor 22/0,42 kV
- 5 – asynchrónny motor vn

b)

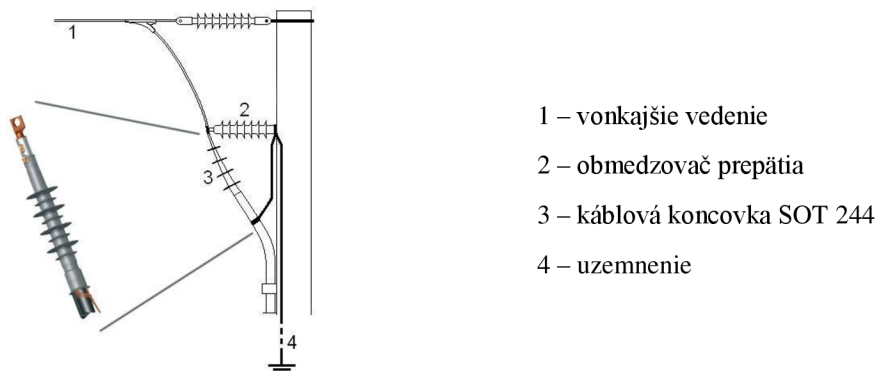
Obr. 4-1 Jednopolová schéma rozvodne vn – rozvádzač UniGear typ ZS1 a), a prepojenie zariadení rozvodne s distribučnou sieťou b).

Pri výpočtoch v ďalšej časti budú uvažované označenia podľa Tab. 4-1, ktorá znázorňuje označenia impedancií, ich popis, označenie v Obr. 4-1 b) a taktiež kapitolu, v ktorej je daná impedancia určená výpočtom.

Tab. 4-1 Označenia a popis používaných impedancií pri výpočtoch.

označenie impedancie	popis	označenie v Obr. 4-1 b)	kapitola
$Z_{(1)Q}$	sieťový napájač	1	4.1
$Z_{(1)22kV}$	prívodné káblové vedenie	medzi 1 a 2	5.2.1
$Z_{(1)22kVT}$	vývodové káblové vedenie medzi rozvádzačom a transformátorom	medzi 2 a 3 medzi 2 a 4	5.4.1
$Z_{(1)TK}$	transformátor 22/0,42 kV	4	5.1.1
$Z_{(1)TK6kV}$	transformátor 22/6 kV	3	5.1.3
$Z_{(1)6kV}$	vývodové káblové vedenie medzi transformátorom 22/6 kV a motorom	medzi 3 a 5	5.5.1
$Z_{(1)M}$	asynchrónny motor 6 kV	5	5.1.2

Keďže pripojenie do distribučnej siete je riešené káblovým vedením, na prechode medzi vonkajším vedením **1** a káblom (Obr. 4-2) bude kábel **3** chránený obmedzovačom prepätia **2**. Zemné svorky obmedzovačov sa pripájajú najkratším spôsobom na konštrukciu stožiaru, prípadne k uzemňovaciemu zvodu stĺpu **4**. Plášť káblu sa najkratším spôsobom pripojí do miesta pripojenia zemných svoriek obmedzovačov. Obmedzovač predstavuje pre šíriacu sa prepäťovú vlnu po vonkajšom vedení rozhranie, na ktorom sa vlna z časti odrazí a z časti ním prejde. Aby však nedošlo k odrazu už obmedzenej vlny, je potrebné, aby fázový vodič bol umiestnený najbližšie k svorke obmedzovača (pripojenie medzi svorkou obmedzovača a fázovým vodičom čo najkratšie).



Obr. 4-2 Použitie kábovej koncovky a obmedzovača prepätia, vytvorené na základe [17].

#### 4.1 Sieťový napájač 22 kV

Elektrizačná sústava alebo jej časť sa často vo výpočtoch nahrádza jedným zdrojom, niekedy označovaný ako tvrdá sieť. Podľa normy ČSN EN 60909 sa tieto náhradné zdroje označujú názvom sieťové napájače. V praxi sa nahrádzajú príslušnou skratovou impedanciou. Vychádza sa z počiatočného rázového skratového prúdu  $I''_{kQ}$  (maximálny a minimálny) v mieste pripojenia záťaže, respektíve z počiatočného súmerného zdanlivého výkonu  $S''_{kQ}$ . Tieto hodnoty určuje na požiadanie príslušný distribútor elektrickej energie.

Skratový výkon v mieste pripojenia<sup>2</sup> rozvodne závisí mimo iného na konfigurácii siete 22 kV, dĺžke a typoch napájacieho vedenia, výkonoch a typoch transformátorov a v neposlednom rade na skratovom výkone nadradenej transformovne 110/22 kV a na skratových pomeroch v sieti 400/110 kV. V prípade pripájania výkonu z obnoviteľného zdroja do distribučnej siete je však potrebné uvažovať aj príspevky zdroja k celkovému skratovému prúdu (závisí od typu a veľkosti výkonu obnoviteľného zdroja).

V súčasnosti<sup>3</sup> je toto pripojovacie miesto napájané zmiešaným (káblovým aj vonkajším) vedením z rozvodne 110/22 kV Sokolnice, kde sa uvažuje s maximálnym (výhľadovým) skratovým výkonom 168 MVA na hladine 22 kV a minimálnym skratovým výkonom 134 MVA. V roku 2012 sa predpokladá pripojenie pripojovacieho miesta na čisto káblovú sieť napájanú z novej rozvodne 110/22 kV Moravany podľa Obr. 4-3. Preto od daného roku tu možno uvažovať s výhľadovým skratovým výkonom 313 MVA na hladine 22 kV, čo prehľadne dopĺňa Tab. 4-2. Nižší skratový výkon v pripojovacom mieste pri napájaní z rozvodne Sokolnice, než pri napájaní z rozvodne Moravany, je daný vzdialenosťou od rozvodne a typom použitého vedenia (napriek tomu, že je v rozvodni 110 kV Sokolnice vyšší skratový výkon).

Tab. 4-2 Skratové výkony rozvodni Sokolnice, Moravany a v mieste pripojenia rozvodne<sup>3</sup>.

	Strana 110 kV			
	Skratové výkony		Skratové prúdy	
Rozvodňa	$S''_{kQmax}$ [MVA]	$S''_{kQmin}$ [MVA]	$I''_{kQmax}$ [kA]	$I''_{kQmin}$ [kA]
110 kV Sokolnice	6395	2656	33,55	13,67
110 kV Moravany	3080	1755	16,20	9,30

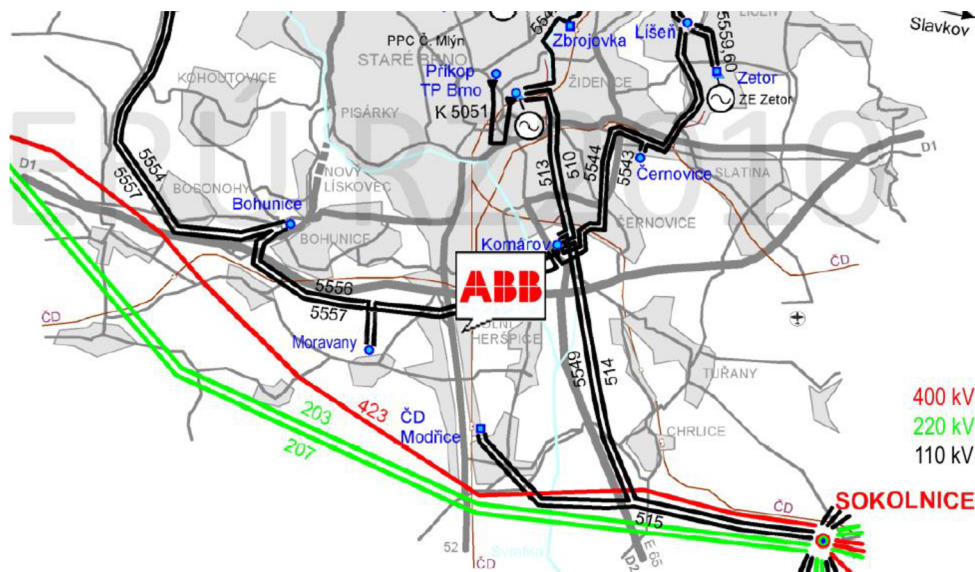
  

	Prepočítané hodnoty v pripojovacom mieste na strane 22 kV			
	Skratové výkony		Skratové prúdy	
Napájanie z rozvodne	$S''_{kQmax}$ [MVA]	$S''_{kQmin}$ [MVA]	$I''_{kQmax}$ [kA]	$I''_{kQmin}$ [kA]
Sokolnice	168	134	4,41	3,52
Moravany	313	291	8,22	7,64

V ďalšom bude uvažované s **napájaním pripojovacích miest z rozvodne Moravany**. Táto transformačná stanica o napätí 110/22 kV posilňuje a stabilizuje rozvod elektrickej energie v južnej časti mesta Brna a jeho okolia od 13. septembra 2011. Súčasťou stanice je zapuzdrená rozvodňa elektrickej energie, využívajúca izolačné a zhašacie médium SF<sub>6</sub> (fluorid sírny). Je počítané s prevádzkou 2 transformátorov o výkone 40 MVA (110±8x2%/23/6,3 kV). Do uzlov transformátorov budú pripojené zhašacie samostatne laditeľné tlmivky (ASR 5 000kVA) s paralelne pripojeným odporníkom (SR1500). Aktuálny stav ku dňu 10.1.2012 je však taký, že je prevádzkovaný zatiaľ iba 1 transformátor s Petersenovou tlmivkou a hodnota celkového kapacitného prúdu siete je  $I_C = 72$  A, pričom sa bude do budúcnosti zväčšovať (rozširovanie siete)<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> miesto v distribučnej sieti stanovené prevádzkovateľom distribučnej siete v stanovisku k žiadosti o pripojenie – v tomto mieste elektrická energia do distribučnej siete vstupuje alebo z nej vystupuje; trafostanica ABB č. 2971, Vídeňská 117, Brno, Česká republika

<sup>3</sup> dáta aktuálne ku dňu 9. 8. 2011, poskytnuté na požiadanie od distribútora elektrickej energie E.ON Česká republika, s.r.o.



Obr. 4-3 Topológia napájacej siete v oblasti Brno [34].

Ekvivalentná skratová impedancia sieťového napájača (súsledná zložka  $Z_{(1)Q}$  sa rovná spätnej  $Z_{(2)Q}$ ) [8] sa určí nasledovne ( $c_{\max}$  je napätový súčiniteľ - Príloha A):

$$Z_Q = \frac{c_{\max} \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I_{kQ\max}''} = \frac{c_{\max} \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot \frac{S_{kQ\max}''}{\sqrt{3} \cdot U_{nQ}}} = \frac{c_{\max} \cdot U_{nQ}^2}{S_{kQ\max}''} = \frac{1,10 \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{313 \cdot 10^6} = 1,7009 \Omega \quad (4.1)$$

Za určitých zjednodušujúcich podmienok možno považovať ekvivalentnú impedanciu za reaktanciu. Potom pre reaktanciu  $X_Q$  rezistenciu  $R_Q$  platí [15]

$$X_Q = 0,995 \cdot Z_Q = 0,995 \cdot 1,7009 = 1,6924 \Omega \quad (4.2)$$

$$R_Q = 0,1 \cdot X_Q = 0,1 \cdot 1,6924 = 0,1692 \Omega \quad (4.3)$$

Teraz možno určiť súlednú a spätnú zložku skratovej impedancie sieťového napájača

$$\bar{Z}_{(1)Q} = \bar{Z}_{(2)Q} = (R_Q + j \cdot X_Q) = (0,1692 + j \cdot 1,6924) \Omega \quad (4.4)$$

V prípade netočivej zložky skratovej impedancie sieťového napájača  $Z_{(0)Q}$  sa počíta podľa [15]

$$\begin{aligned} |Z_{(0)Q}| &= \frac{c_{\max} \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3}} \cdot \left( \frac{3}{I_{kQ\min}''} - \frac{2}{I_{kQ\max}''} \right) = c_{\max} \cdot U_{nQ}^2 \cdot \left( \frac{3}{S_{kQ\min}''} - \frac{2}{S_{kQ\max}''} \right) = \\ &= 1,10 \cdot (22 \cdot 10^3)^2 \cdot \left( \frac{3}{291 \cdot 10^6} - \frac{2}{313 \cdot 10^6} \right) = 2,0867 \Omega \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{(0)Q} &= 0,1 \cdot 0,995 \cdot |Z_{(0)Q}| + j \cdot 0,995 \cdot |Z_{(0)Q}| = (0,1 \cdot 0,995 \cdot 2,0867 + j \cdot 0,995 \cdot 2,0867) = \\ &= (0,2076 + j \cdot 2,0763) \Omega \end{aligned} \quad (4.6)$$

Pre výpočet minimálnych skratových pomerov v sieti je potrebné stanoviť ekvivalentnú skratovú impedanciu sieťového napájača  $Z_{(1)Qmin}$  nasledovne ( $c_{min}$  je napäťový súčiniteľ - Príloha A) [8]

$$Z_{Qmin} = \frac{c_{min} \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I_{kQmin}''} = \frac{c_{min} \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot \frac{S_{kQmin}''}{\sqrt{3} \cdot U_{nQ}}} = \frac{c_{min} \cdot U_{nQ}^2}{S_{kQmin}''} = \frac{1,00 \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{291 \cdot 10^6} = 1,6632 \Omega \quad (4.7)$$

Obdobne pre reaktanciu  $X_{Qmin}$ , rezistenciu  $R_{Qmin}$  platia vzťahy (4.8) a (4.9), a výsledná  $Z_{(1)Qmin}$  je

$$X_{Qmin} = 0,995 \cdot Z_{Qmin} = 0,995 \cdot 1,6632 = 1,6549 \Omega \quad (4.8)$$

$$R_{Qmin} = 0,1 \cdot X_{Qmin} = 0,1 \cdot 1,6549 = 0,1655 \Omega \quad (4.9)$$

$$\bar{Z}_{(1)Qmin} = (R_{Qmin} + j \cdot X_{Qmin}) = (0,1655 + j \cdot 1,6549) \Omega \quad (4.10)$$

## 4.2 Pripojovacie podmienky a legislatíva

Kapitola 4.2 a jej podkapitoly boli spracované na základe poznatkov *Pravidel provozování distribučních soustav (PPDS)* [25], [26], [27].

Cieľom tohto dokumentu je zverejnenie predpisov, ktoré stanovujú minimálne technické, plánovacie a informačné požiadavky pre pripojenie užívateľov k distribučnej sieti a pre jej používanie. Pravidlá spracovávajú distribútori elektrickej energie ČEZ Distribuce, a.s.; E.ON Distribuce, a.s.; PREdistribuce, a.s.; a návrh schvaľuje Energetický regulačný úrad (ERÚ).

Požiadavky budúceho užívateľa môžu vyvolať úpravy distribučnej siete v podobe zosilnenia alebo rozšírenia kapacity príslušného miesta pripojenia medzi prenosovou a distribučnou sústavou. Každé pripojenie je potrebné posudzovať podľa vlastností výroby alebo odberu v rámci **jednania medzi užívateľom a prevádzkovateľom**. Užívateľ musí stanoviť požadovanú úroveň spoľahlivosti a ďalšie parametre kvality elektrickej energie svojej výroby alebo odberu. Platí, že čím väčšia úroveň kvality dodávky užívateľ požaduje, tým väčšie budú investičné náklady prevádzkovateľa a v dôsledku toho bude musieť užívateľ hradiť okrem podielu na oprávnených nákladoch prevádzkovateľa za štandardné pripojenie aj ostatné náklady spojené s nadštandardným pripojením. Miestom pripojenia k napäťovej hladine je zároveň definovaná kategória odberateľa.

Podmienkami pripojenia zariadenia žiadateľa k distribučnej sústave podľa [23] sú

- podanie žiadosti o pripojenie,
- predloženie štúdie pripojiteľnosti (ak je požadovaná) za podmienok stanovených platnou vyhláškou č. 51/2006 Sb., o podmienkach pripojenia k elektrizačnej sústave,
- uzavretie zmluvy o pripojení medzi žiadateľom a prevádzkovateľom distribučnej sústavy.

Uzavretie zmluvy o pripojení (zmluvy o budúcej zmluve o pripojení) umožňuje vybranie zálohy z podielu žiadateľa na oprávnených nákladoch súvisiacich s pripojením jeho zariadenia k distribučnej sieti.

U dodávok o inom než nízkom napätí odberateľ na požiadanie predloží okrem údajov

- adresa odberného miesta, rezervovaný príkon, charakter odberu, typ a odber pripojovaných spotrebičov, požadovaná kvalita dodávky elektrickej energie, dátum ku ktorému je pripojenie požadované,
- maximálny požadovaný činný výkon, maximálne a minimálne požiadavky na jalový výkon, typy záťaží a ich riadenie, maximálna záťaž pre každú fázu v dobe maximálneho odberu, maximálne harmonické prúdy, ktorú budú tiecť do distribučnej siete.

Žiadosť o pripojenie je posúdená [24] prevádzkovateľom distribučnej sústavy s ohľadom na

- miesto a spôsob požadovaného pripojenia,
- veľkosť požadovaného rezervovaného príkonu alebo výkonu<sup>4</sup> a časový priebeh zaťaženia,
- spoľahlivosť dodávky elektrickej energie,
- charakter spätného pôsobenia zariadenia žiadateľa na distribučnú sústavu,
- plánovaný rozvoj sústavy,
- poradie podaných žiadostí.

Žiadateľ hradí **zálohu na podiel na oprávnených nákladoch** a to vo výške 50 % z hodnoty podielu na oprávnených nákladoch. Náklady spojené s pripojením a so zaistením požadovaného výkonu alebo príkonu zahŕňajú potrebné vynaložené oprávnené náklady súvisiace s obstaraním, výstavbou alebo úpravami distribučnej sústavy, ktoré boli vyvolané na základe požiadavky žiadateľa v súvislosti s miestom a spôsobom pripojenia jeho zariadení. Podiel žiadateľa na oprávnených nákladoch sa vypočíta ako súčin merného podielu podľa prílohy č. 6 vyhlášky č. 51/2006 Sb a žiadateľom požadovaného rezervovaného príkonu alebo výkonu [24]. Merný podiel žiadateľa je stanovený na úrovni distribučnej sústavy v Kč/MW (Tab. 4-3).

Tab. 4-3 Odberné zariadenie (za rezerváciu príkonu) [24].

miesto pripojenia k napäťovej hladine	spôsob pripojenia	merný podiel žiadateľa
prenosová sústava		200 000 Kč/MW
distribučná sústava vvn	typ A	600 000 Kč/MW
distribučná sústava vvn	typ B	150 000 Kč/MW
distribučná sústava vn	typ A	800 000 Kč/MW
distribučná sústava vn	typ B1	200 000 Kč/MW
distribučná sústava nn	trojfázové pripojenie	500 Kč/A
distribučná sústava nn	jednofázové pripojenie	200 Kč/A

Pripojenie **typu A** je pripojenie, kedy prevádzkovateľ distribučnej sústavy rozšíri distribučnú sústavu až do predávacieho miesta, ktorým je napríklad transformovňa alebo rozvodňa žiadateľa o pripojenie. Pripojenie **typu B** je pripojenie, ktoré nespĺňa podmienky typu A. Pripojenie **typu B1** je pripojenie, kedy nie je nutná výstavba novej kobky a pripojnic a sú nutné len úpravy technického rázu (doplnenie výzbroje kobky).

#### 4.2.1 Uzemnenie a požiadavky na chránenie sústavy užívateľa

Prevádzkovateľ distribučnej siete a užívateľ sa dohodnú na spôsobe **uzemnenia sústavy** užívateľa siete. Špecifikácia pripojovaného zariadenia musí odpovedať napätiam, ktoré sa na zariadení môžu vyskytnúť v dôsledku použitého spôsobu prevádzky uzla.

Distribučná sústava a sústava užívateľa pripojená k distribučnej sieti, **musia byť vybavené ochranami** v súlade s normou ČSN 33 3051: *Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení*,

<sup>4</sup> rezervovaným výkonom možno rozumieť hodnotu elektrického príkonu dohodnutého s prevádzkovateľom distribučnej sústavy na základe požadovaného príkonu pre odberné alebo predávacie miesto v kW na hladine vysokého napätia



a v súlade s požiadavkami *Pravidel provozování distribučních soustav*. Pre zaistenie spoľahlivého a bezpečného chodu prevádzky distribučnej sústavy sa **v priebehu vybavovania žiadosti o pripojení prevádzkovateľ siete a užívateľ dohodnú na systéme chránenia, vypínacích časoch, selektivite a citlivosti ochrán v mieste pripojenia a o hranici vlastníctva**. Tieto parametre môžu byť zo strany prevádzkovateľa distribučnej siete v súčinnosti s užívateľom v prípade potreby upravené či pozmenené. Ďalej súčasťou ich dohody musí byť zaistenie záložného chránenia pre prípad zlyhania alebo neschopnosti funkcie ochrany v mieste pripojenia alebo zlyhania vypnutia príslušných vypínačov. Záložná ochrana môže byť buď miestna alebo vzdialená. Ak prevádzkovateľ nestanoví inak, nesmie používateľ použiť obmedzovač skratového prúdu tečúceho do distribučnej siete, pokiaľ by jeho zlyhanie mohlo spôsobiť u zariadení vo vlastníctve prevádzkovateľa prekročenie menovitých skratových prúdov.

**Riešenie ochrán užívateľa** na hranici vlastníctva, v rámci typov zariadení a nastavenia ochrán i prenos informácií o pôsobení ochrán musia odpovedať štandardom prevádzkovateľa, ktoré prevádzkovateľ špecifikoval počas vybavovania žiadosti o pripojenie. Ide o tieto

- maximálna doba vypnutia poruchy (od počiatku poruchového prúdu až do zhasnutia oblúku) a nastavenie ochrán musí byť v rozmedzí hodnôt stanovených prevádzkovateľom distribučnej sústavy a v súlade s limitmi skratovej odolnosti zariadení,
- užívateľ nesmie obmedziť činnosť automatík distribútora (opätovné zapínanie, regulácia napätia) a tým znížiť kvalitu dodávanej elektrickej energie,
- v distribučnej sieti môžu byť používané prvky automatického alebo sekvenčného spínania. Prevádzkovateľ podá na požiadanie podrobné informácie o prvkoch automatického alebo sekvenčného spínania, aby užívateľ mohol tieto informácie zohľadniť v návrhu svojej sústavy, v rámci riešenia ochrán,
- užívateľ si musí uvedomiť, že pri napájaní zo siete vysokého napätia s kompenzáciou zemných kapacitných prúdov môže v tejto sieti nesymetria fázových napätí vplyvom zemného spojenia trvať až niekoľko hodín a že riešenie ochrán v niektorých sieťach, napríklad v mimomestských oblastiach, môže u niektorých typov porúch spôsobiť odpojenie iba jednej fáze trojfázovej sústavy.

Skutočné hodnoty **skratovej odolnosti zariadení užívateľa** v mieste pripojenia nesmú byť menšie než zadané hodnoty skratového prúdu distribučnej siete, ku ktorej je zariadenie pripojené.

#### 4.2.2 Prípojky vysokého napätia realizované káblovým vedením

Pri stanovení pripojovacích podmienok spracovaných prevádzkovateľom distribučnej siete sa vychádza z použitej technológie v predpokladanom mieste pripojenia, z technológie odberného zariadenia, jeho významu a požiadaviek odberateľa na stupeň zaistenia dodávky elektrickej energie. Podľa [27] sa štandardne pripojenie odberateľa na úrovni vysokého napätia rieši

- zasmyčovaním káblového vedenia do vstupných polí rozvodne vn, v tomto prípade sa hranica vlastníctva a spôsob prevádzkovania dohodne individuálne v zmluve o pripojení (v tomto prípade sa nejedná o prípojku),
- urobením jednej káblovej prípojky von z elektrickej stanice vn prevádzkovateľa distribučnej siete. Prípojka začína odbočením od prípojnic vn v stanici prevádzkovateľa.

Súčasťou prípojky je technológia vývodového poľa. Technológiu vývodového poľa určí prevádzkovateľ v pripojovacích podmienkach, technológia musí byť kompatibilná so súčasnou technológiou stanice.

- nadštandardne v prípade požiadavky odberateľa na zvýšený stupeň zabezpečenia dodávky elektrickej energie dvoma alebo viac prípojkami, pripojenými na rôzne káblové vedenia vn, alebo transformovne 110 kV/vn. Keďže projektovaná **rozvodňa má dve prívodné polia, bude počítané s touto variantou.**

Ochrana káblových vedení pri vzniku nadprúdu, skratu a podobne, sa vykonáva v napájacích elektrických staniách vn v súlade s normou ČSN EN 60 059 (33 0125). Prevedenie káblového vedenia musí odpovedať norme ČSN 33 3051. Obecne prípojka vn končí káblovými koncovkami v odberateľskej stanici.

### 4.2.3 Pripojenie výrobné s distribučnou sieťou

Keďže v tejto práci uvažovaná rozvodňa nie je výrobňou, kapitola je uvedená len pre informáciu.

Pre spojenie vlastnej výrobné s distribučnou sieťou musí byť použité spínacie zariadenie minimálne so schopnosťou vypínania záťaže (napríklad vypínač, odpínač s poistkami, úsekový odpínač), ktorému je priradená skratová ochrana. Výrobca musí ďalej preukázať skratovú odolnosť celého zariadenia, preto mu prevádzkovateľ distribučnej siete udá veľkosť príspevku skratového ekvivalentného otepľovacieho prúdu a veľkosť nárazového skratového prúdu zo siete.

K opatreniu na ochranu vlastnej výrobné (skratová ochrana, ochrana pri preťažení, ochrana pri nebezpečnom dotyku) sú potrebné ďalšie opatrenia využívajúce ochrany, ktoré pri odchýlkach napätia a kmitočtu vybavujú príslušné spínacie zariadenia (Tab. 4-4). Podpäťová a nadpäťová ochrana musí byť trojfázová, podfrekvenčná a nadfrekvenčná ochrana môže byť jednofázová.

Tab. 4-4 Ochrany a ich funkcie pri chránení výrobné [25].

funkcia	rozsah nastavenia	príklad	časové oneskorenie	príklad
podpätie 1. stupeň $U <$	$0,70 \cdot U_n$ až $1,0 \cdot U_n$	$90 \% U_n$	$t_{U <}$	0,5 s
podpätie 2. stupeň $U <<$	$0,70 \cdot U_n$ až $1,0 \cdot U_n$	$80 \% U_n$	$t_{U <<}$	0,1 s
prepätie 1. stupeň $U >$	$1,0 \cdot U_n$ až $1,2 \cdot U_n$	$110 \% U_n$	$t_{U >}$	0,5 s
prepätie 2. stupeň $U >>$	$1,0 \cdot U_n$ až $1,2 \cdot U_n$	$120 \% U_n$	$t_{U >>}$	0,1 s
podfrekvencia 1. stupeň $f <$	48 Hz až 50 Hz	49,8 Hz	$t_{f <}$	0,5 s
podfrekvencia 2. stupeň $f <<$	48 Hz až 50 Hz	49,5 Hz	$t_{f <<}$	0,1 s
nadfrekvencia $f >$	50 Hz až 52 Hz	50,2 Hz	$t_{f >}$	0,5 s

K pripojeniu môže byť použitý ako spínač, ktorý spája celé zariadenie odberateľa so sieťou, tak spínač, ktorý spája generátor alebo viac paralelných generátorov s ostatným zariadením odberateľa. Zapnutie tohto spínača musí byť blokovávané do tej doby, pokiaľ nie je na každej fáze napätie minimálne nad rozbehovú hodnotu podpäťovej ochrany.

Zvýšené napätie, ktoré je vyvolané prevádzkou pripojených výrobní, nesmie v najnepriaznivejšom prípade v pripojovacom bode prekročiť 2 % pre výrobné s prípojným miestom v sieti vysokého napätia v porovnaní s napätím bez ich pripojenia.

## 5 DIMENZOVANIE ZARIADENÍ ROZVODNE, VÝPOČET SKRATOVÝCH POMEROV

Veľkosť skratového prúdu v trojfázovom striedavom systéme závisí od konfigurácie siete, generátorov, motorov v činnosti a od stavu siete pred poruchou. Metóda výpočtu počiatočného súmerného skratového prúdu spočíva podľa ČSN EN 60909 v zavedení ekvivalentného napäťového zdroja v mieste skratu. Tento napäťový zdroj je jediným aktívnym napätím sústavy. Pre potreby tejto metódy bol zavedený napäťový súčiniteľ  $c$ , ktorý udáva pomer medzi napätím ekvivalentného napäťového zdroja a menovitým napätím siete  $U_n$  deleným  $\sqrt{3}$ . Jeho hodnoty sú uvedené ako Príloha A. Veľkosti skratových výkonov v mieste pripojenia rozvodne uvádza kapitola 4.1.

### 5.1 Strojové vybavenie rozvodne

V kapitole je uvedený popis záťaží jednotlivých vývodových polí rozvodne v podobe transformátorov a motorov, v rámci všetkých technických parametrov a výpočtov náhradných impedancií.

#### 5.1.1 Distribučný transformátor 22/0,42 kV

Transformátory toho typu sú použité pre distribúciu elektrickej energie v mestských, obecných a priemyselných oblastiach. V tomto projekte sú použité pre vlastnú spotrebu rozvodne a pre nízkonapäťový rozvod 0,42 kV, 50 Hz. Definujeme ho prostredníctvom menovitého výkonu  $S_{rT}$ , menovitého napätia  $U_{rT}$ , prevodu, počtom odbočiek, napätia nakrátko  $u_{kr}$ , skupinou zapojenia vinutia, stratami nakrátko  $P_{krT}$ , stratami naprázdno  $P_{0T}$ . Tieto údaje zobrazuje Tab. 5-1. Ďalším dôležitým prvkom transformátora je chladenie (prirodzené, nútené), a jeho typ (suchý, olejový).

Tab. 5-1 Parametre olejového distribučného transformátora ABB 22/0,42 kV [20].

$S_{rT}$	[kVA]	1250
$U_{rTHV}/U_{rTLV}$	[kV/kV]	22/0,42
$p_t$	[%]	$\pm 2 \times 2,5$
$u_{kr}$	[%]	6
zapojenie	[-]	Dyn1
$P_{krT}$	[W]	12500
$P_{0T}$	[W]	1300
počet	[ks]	2
dĺžka	[mm]	1880
šírka	[mm]	1180
výška	[mm]	1780
hmotnosť oleja	[kg]	600



Pri výpočte skratových pomerov sa priečna zložka transformátora (magnetická reaktancia, straty v železe) môže zanedbať [15], preto je náhradná schéma pre dvojinuťové transformátory vo forme jednej impedancie. Podľa normy ČSN EN 60909 sa však k tejto impedancii musí spočítať aj takzvaný korekčný súčiniteľ  $K_T$ .

Činnú zložku napätia nakrátko  $u_r$  vypočítame z činných strát nakrátko  $P_{krT}$  a menovitého výkonu  $S_{rT}$  (5.1), jalovú zložku  $u_x$  vypočítame z napätia nakrátko  $u_{kr}$  a činnej zložky napätia nakrátko  $u_r$  (5.2) [15]

$$u_r = \frac{P_{krT}}{S_{rT}} = \frac{12500}{1250 \cdot 10^3} = 0,01 \quad (5.1)$$

$$u_x = \sqrt{u_{kr}^2 - u_r^2} = \sqrt{0,06^2 - 0,01^2} = 0,0592 \quad (5.2)$$

Potom možno určiť rezistanciu transformátora  $R_T$  a reaktanciu dvojinuťového transformátora  $X_T$  ako [15]

$$R_T = u_r \cdot \frac{U_{rTHV}^2}{S_{rT}} = 0,01 \cdot \frac{(22 \cdot 10^3)^2}{1250 \cdot 10^3} = 3,872 \Omega \quad (5.3)$$

$$X_T = u_x \cdot \frac{U_{rTHV}^2}{S_{rT}} = 0,0592 \cdot \frac{(22 \cdot 10^3)^2}{1250 \cdot 10^3} = 22,9222 \Omega \quad (5.4)$$

Spomínaný korekčný súčiniteľ  $K_T$  [8] sa určí na základe pomernej hodnoty reaktancie transformátora  $x_T$

$$x_T = \frac{X_T}{\frac{U_{rTHV}^2}{S_{rT}}} = \frac{22,9222}{\frac{(22 \cdot 10^3)^2}{1250 \cdot 10^3}} = 0,0592 \quad (5.5)$$

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_T} = 0,95 \cdot \frac{1,10}{1 + 0,6 \cdot 0,0592} = 1,0092 \quad (5.6)$$

Výsledná korigovaná súsledná a spätná zložka skratovej impedancie transformátora sa rovnajú, a jej hodnota je [15]

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{(1)TK} = \bar{Z}_{(2)TK} &= K_T \cdot (R_T + j \cdot X_T) = 1,0092 \cdot (3,872 + j \cdot 22,9222) = \\ &= (2,5522 + j \cdot 21,0286) \Omega \end{aligned} \quad (5.7)$$

Náhradná schéma pre netočivú zložku skratovej impedancie závisí od druhu zapojenia transformátora a od spôsobu prevádzkovania uzlu. V prípade zapojenia Dyn je netočivá zložka tohto transformátora  $\bar{Z}_{(0)T} = \infty$ .

### 5.1.2 Asynchrónny indukčný motor vn

Sú najpoužívanějšími motormi najmä vo vlastnej spotrebe elektrárne ako čerpadlá či kompresory, v oceliarskom a papierenskom priemysle. V rozvodni budú nainštalované 4-pólové asynchrónne motory o menovitom činnom výkone  $P_{rM} = 250$  kW, pri kmitočte  $f = 50$  Hz, podľa Tab. 5-2, krytie IP 55, chladenie IC 411, izolačná trieda F, nárast teploty v triede B. Ďalej z katalógových údajov [3] je známa doba, po ktorú je možné prevádzkovať motor pri menovitom

napätí so zablokovaným rotorom 20 s (*maximum stalling time hot*), doba rozbehu 8 s (90 % menovitého momentu, pri menovitom napätí, *starting time cold*).

Tab. 5-2 Parametre vn asynchrónneho motora ABB typu M3BM [3].

$P_{rM}$	[kW]	250	$p$	[-]	2
$U_{rM}$	[kV]	6	$n_o$	[min <sup>-1</sup> ]	1500
$I_{rM}$	[A]	30	$n$	[min <sup>-1</sup> ]	1486
$I_{LR}/I_{rM}$	[-]	5,8	$M_r$	[Nm]	1606
$\cos \varphi_k$	[-]	0,17	$M_{LR}/M_r$	[-]	1,3
$\cos \varphi$	[-]	0,84	$M_{max}/M_r$	[-]	2,3
$\eta$	[%]	95,5	$J$	[kgm <sup>2</sup> ]	87
$\theta_o$	[°C]	40	typ M3BM 355 LKA		



Menovitý zdanlivý výkon motora  $S_{rM}$  vypočítame ako [15]

$$S_{rM} = \frac{P_{rM}}{\cos \varphi \cdot \eta} = \frac{250 \cdot 10^3}{0,84 \cdot 0,955} = 311,643 \text{ kVA} \quad (5.8)$$

Menovitá impedancia motora [8] je určená zo vzťahu

$$Z_{rM} = \frac{1}{I_{LR}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} = \frac{1}{5,8} \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{311,643 \cdot 10^3} = 19,9167 \Omega \quad (5.9)$$

Reaktancia pre motory vysokého napätia o výkone  $P_{rM}$  na dvojicu pólů menšom ako 1 MW, podľa ČSN EN 60909 platí, že

$$X_{rM} = 0,989 \cdot Z_{rM} = 0,989 \cdot 19,9167 = 19,6976 \Omega \quad (5.10)$$

Rezistanciu vypočítame pomocou

$$R_{rM} = \sqrt{Z_{rM}^2 - X_{rM}^2} = \sqrt{19,9167^2 - 19,6976^2} = 2,9461 \Omega \quad (5.11)$$

Impedancia motora v súslednej a spätnej zložkovej sústave sa rovnajú, a prepočítaním cez prevodový transformátor 22/6 kV (kapitola 5.1.3) na hladinu 22 kV ju možno určiť nasledovne:

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{(1)M} = \bar{Z}_{(2)M} &= (R_{rM} + j \cdot X_{rM}) \cdot \left( \frac{U_{rTHV}}{U_{rTLV}} \right)^2 = (2,9461 + j \cdot 19,6976) \cdot \left( \frac{22 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^3} \right)^2 \\ &= (39,6087 + j \cdot 264,8233) \Omega \end{aligned} \quad (5.12)$$

### 5.1.3 Prevodový transformátor 22/6 kV

Aj keď je výroba týchto transformátorov väčšinou na zákazku, typickou oblasťou ich použitia sú priemyselné distribučné siete (automobilový, papiernický a sklársky priemysel, chemické závody). Výpočet potrebného zdanlivého výkonu transformátora, pre napájanie asynchrónneho motora, závisí na niekoľkých parametroch. Záberný prúd motora je udávaný pre


menovité napätie na svorkách motora. Vplyvom impedancie transformátora a káblov bude napätie na svorkách motora nižšie o úbytok napätia pri rozbehu motora, voči napätiu menovitému. Úmerne sa zníži aj záberný prúd a tým potrebný zdanlivý výkon. Krátkodobé preťaženie transformátora pri spúšťaní motora však vinutie nemôže poškodiť [4]. Potrebný zdanlivý výkon  $S_{LR}$  pri spúšťaní asynchrónneho motora (kapitola 5.1.2) je určený ako [4]

$$S_{LR} = \frac{P_{rM} \cdot I_{LR}}{I_{rM} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{250 \cdot 10^3 \cdot 5,8}{0,955 \cdot 0,84} = 1,8 \text{ MVA} \quad (5.13)$$

kde  $P_{rM}$  je menovitý činný výkon motora,  $I_{LR}$  je záberný prúd motora,  $I_{rM}$  je menovitý prúd motora,  $\eta$  je účinnosť asynchrónneho motora,  $\cos \varphi$  menovitý účinník motora z Tab. 5-2.

Krátkodobému preťaženiu bez skrátenia životnosti tak vyhovie napríklad transformátor 1 MVA podľa Tab. 5-3.

Tab. 5-3 Parametre olejového prevodového transformátora ABB 22/6 kV [22].

$S_{rT}$	[kVA]	1000	
$U_{rTHV}/U_{rTLV}$	[kV/kV]	22/6	
$p_t$	[%]	$\pm 2 \times 2,5$	
$u_{kr}$	[%]	6	
zapojenie	[-]	Dy1	
$P_{krT}$	[W]	10500	
$P_{0T}$	[W]	1700	
počet	[ks]	2	
dĺžka	[mm]	1780	
šírka	[mm]	1100	
výška	[mm]	1680	
hmotnosť oleja	[kg]	500	

Podobne ako v kapitole 5.1.1, činnú zložku napätia nakrátko  $u_r$  vypočítame z činných strát nakrátko  $P_{krT}$  a menovitého výkonu (5.14), jalovú zložku  $u_x$  vypočítame z napätia nakrátko  $u_{kr}$  a činnej zložky napätia nakrátko  $u_r$  (5.15) [15]

$$u_r = \frac{P_{krT}}{S_{rT}} = \frac{10500}{1000 \cdot 10^3} = 0,0105 \quad (5.14)$$

$$u_x = \sqrt{u_{kr}^2 - u_r^2} = \sqrt{0,06^2 - 0,0105^2} = 0,0591 \quad (5.15)$$

Rezistencia transformátora  $R_T$  a jeho reaktancia  $X_T$  je

$$R_T = u_r \cdot \frac{U_{rTHV}^2}{S_{rT}} = 0,0105 \cdot \frac{(22 \cdot 10^3)^2}{1000 \cdot 10^3} = 5,082 \Omega \quad (5.16)$$

$$X_T = u_x \cdot \frac{U_{rTHV}^2}{S_{rT}} = 0,0591 \cdot \frac{(22 \cdot 10^3)^2}{1000 \cdot 10^3} = 28,6044 \Omega \quad (5.17)$$

Korekčný súčiniteľ  $K_T$  sa určí na základe pomernej hodnoty reaktancie transformátora  $x_T$

$$x_T = \frac{X_T}{\frac{U_{rTHV}^2}{S_{rT}}} = \frac{28,6044}{\frac{(22 \cdot 10^3)^2}{1000 \cdot 10^3}} = 0,0591 \quad (5.18)$$

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + 0,6 \cdot x_T} = 0,95 \cdot \frac{1,10}{1 + 0,6 \cdot 0,0591} = 1,0092 \quad (5.19)$$

Výsledná korigovaná súsledná a spätná zložka skratovej impedancie transformátora sa rovnajú, a jej hodnota je

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{(1)TK6kV} = \bar{Z}_{(2)TK6kV} &= K_T \cdot (R_T + j \cdot X_T) = 1,0092 \cdot (5,082 + j \cdot 28,6044) = \\ &= (5,1288 + j \cdot 28,8676) \Omega \end{aligned} \quad (5.20)$$

Netočivá zložka skratovej impedancie v prípade zapojenia Dy  $\bar{Z}_{(0)T} = \infty$ .

## 5.2 Káblový prívod z distribučnej siete vn

Základnou charakteristikou vodičov je dovolená prevádzková teplota jadier vodičov  $\theta_Z$ . Táto je závislá na druhu izolácie a menovitom napätí. Dimenzovanie vodičov podľa prevádzkovej teploty, úbytku napätia a podľa účinkov skratových prúdov je základnou potrebou pri návrhu [21]. V nasledujúcom zvolíme typ a prierez prívodného vn káblu, keď predpokladáme jeho dĺžku od pripojovacieho miesta k rozvodni vn 50 m.

### 5.2.1 Dimenzovanie z hľadiska prevádzkovej teploty

Výpočtový prúd  $I_p$ , pre určenie menovitého prúdového zaťaženia  $I_n$  vodiča prívodu, určíme z menovitých výkonov všetkých transformátorov  $\sum S_{rT}$  a menovitého napätia siete  $U_n$  (pri uvažovaní, že rozvodňa je napájaná z jedného prívodu a je zopnutý pozdĺžny spínač prípojnic)

$$I_p = \frac{\sum S_{rT}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{(2 \cdot 1250 + 2 \cdot 1000) \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3} = 118,0944 \text{ A} \quad (5.21)$$

Keďže káble budú uložené v zemi, v priamom kontakte s pôdou (o mernom tepelnom odpore 2,5 K.m/W v hĺbke 0,7 m pri teplote 20 °C), podľa ČSN 33 2000-5-523 ide o referenčný spôsob uloženia D (Príloha D). Menovité prúdové zaťaženie musí splniť podmienku [21]

$$I_n \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2} = \frac{118,0944}{1 \cdot 1} = 118,0944 \text{ A} \quad (5.22)$$

kde  $k_1, k_2$  prepočítavacie súčinitele pre kábel (pre danú teplotu prostredia, pre dané podmienky a spôsob uloženia, ktoré sú odlišné od referenčného spôsobu uloženia). Koeficient  $k_1$  zobrazuje Príloha B, koeficient  $k_2$  Príloha C.

Vypočítanému prúdu  $I_n$  odpovedá najbližšie vyššie menovité zaťaženie káblu s XLPE izoláciou a hliníkovým jadrom o priereze  $3 \times 70 \text{ mm}^2$  s  $I_n = 138 \text{ A}$  (Príloha E). Prepočtami podľa kapitoly 5.2.2 vyhovel až prierez ( $q_n$ ) **3x150 mm<sup>2</sup>**. Preto možno zvoliť kábel **22-AXEKVCEY 12,7/22 kV** (Príloha F). Rezistencia na kilometer dĺžky  $R_{k22kV} = 0,206 \text{ } \Omega/\text{km}$ , indukčnosť  $L_{k22kV} = 0,39 \text{ mH/km}$ . Preto možno vypočítať impedanciu tohto káblu dĺžky 50 m

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{(1)22kV} &= (R_{k22kV} + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{k22kV}) \cdot 0,05 = (0,206 + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,39 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,05 = \\ &= (0,0103 + j \cdot 6,1261 \cdot 10^{-3}) \Omega \end{aligned} \quad (5.23)$$

### 5.2.2 Dimenzovanie z hľadiska účinkov skratových prúdov

Určuje sa minimálny prierez jadier  $q_{nmin}$  pri ktorom nenastane ohriatie vodiča nad dovolenú teplotu vodiča pri skrate  $\theta_k$  [21]. Podľa normy [8] sa najväčší počiatočný rázový skratový prúd prejaví v bežnom prípade pri trojpólovom skrate. Výslednú impedanciu  $Z$  pre jeho výpočet tvorí impedancia sieťového napájajúca (kapitola 4.1  $Z_{(1)Q}$ ) a impedancia použitého vn káblu od pripojovacieho miesta po rozvádzač vn  $Z_{(1)22kV}$  (podľa Obr. 4-1 b), trojpólový skrat na prípojnicách rozvádzača)

$$\begin{aligned} \bar{Z} &= \bar{Z}_{(1)Q} + \bar{Z}_{(1)22kV} = (0,1692 + j \cdot 1,6924) + (0,0103 + j \cdot 6,1261 \cdot 10^{-3}) = \\ &= (0,1795 + j \cdot 1,6985) \Omega \end{aligned} \quad (5.24)$$

Počiatočný súmerný rázový skratový prúd na konci káblu pri trojfázovom skrate [8]

$$I''_{kmax} = \frac{c_{max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\bar{Z}|} = \frac{1,10 \cdot 22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot |0,1795 + j \cdot 1,6985|} = 8,180 \text{ kA} \quad (5.25)$$

Súčiniteľ pre výpočet nárazového skratového prúdu [8]  $\kappa$ , kde  $R$  značí celkovú rezistanciu obvodu,  $X$  celkovú reaktanciu obvodu zo vzťahu (5.24)

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{0,1795}{1,6985}} = 1,7337 \quad (5.26)$$

Súčiniteľ  $m$  pre  $\kappa = 1,7337$  a čas trvania skratu  $T_k = 0,8 \text{ s}$  je približne  $m = 1,30$  (Príloha G). Súčiniteľ  $n$  podľa [8] je pre distribučné siete rovný 1. Ekvivalentný otepľovací prúd [8] je

$$I_{th} = I''_{kmax} \cdot \sqrt{m+n} = 8,180 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1,30+1} = 12,4056 \text{ kA} \quad (5.27)$$

Mínimálny prierez, ktorý je schopný akumulovať teplo vyvinuté skratovým prúdom bez toho, aby sa teplota vodiča zvýšila nad hodnotu maximálnej dovolenej teploty pri skrate [21] určíme ako



$$q_{n\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{T_k}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot \theta_f + 20}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\theta_f + \theta_k}{\theta_f + \theta_z}}} = \frac{12,4056 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,8}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot 228,0 + 20}{0,02941} \cdot \ln \frac{228 + 250}{228 + 90}}} =$$

$$= 121,75 \text{ mm}^2 \quad (5.28)$$

kde materiálové konštanty hliníkového káblu s izoláciou zosieteného polyetylénu sú špecifický odpor  $\rho_{20} = 0,02941 \text{ } \Omega\text{mm}^2\text{m}^{-1}$ , fiktívna teplota  $\theta_f = 228,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ , špecifické teplo  $c_0 = 2,417 \text{ Jcm}^{-3}\text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , najvyššia dovolená teplota jadra pri skrate  $\theta_k = 250 \text{ } ^\circ\text{C}$ , najvyššia dovolená prevádzková teplota jadra vodiča  $\theta_z = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Keďže je splnená podmienka  $q_n \geq q_{n\min}$ , kábel vyhovel na kontrolu tepelných účinkov skratového prúdu.

### 5.3 Rozvádzač ABB UniGear typ ZS1

Rozvádzač je modulárny a je zostavený umiestňovaním štandardizovaných jednotiek vedľa seba (Obr. 5-1). Každá jednotka sa skladá z troch silových oddielov: výkonový prístroj (A), prípojnice (B), káblový prívod (C), ďalej z pomocného oddielu (D), kde sú uložené ostatné prístroje (ochranný terminál) a ostatné pomocné vodiče. Rozvádzač je obvyčajne vybavený kanálom pre odvedenie plynov vytvorených vplyvom vnútorného oblúkového skratu (E). Oddiel prípojnic obsahuje hlavný prípojnicový systém pripojený k horným pevným odpojovacím kontaktom prístroja pomocou pripojenia odbočiek.

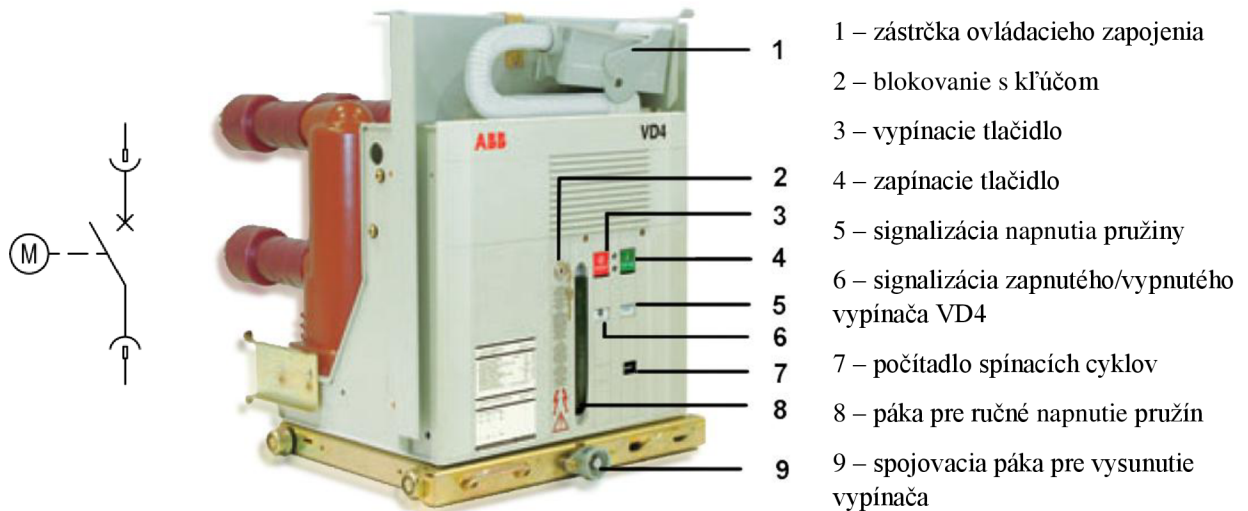
Každý oddiel prívodu (vývodu) môže byť vybavený uzemňovačom pre uzemnenie káblu, alebo pre uzemnenie prípojnicového systému. Uzemňovač má skratovú zapínaciu schopnosť a ovláda sa z prednej strany ručným alebo motorovým ovládaním.



oblasť A – výkonový prístroj; oblasť B – hlavné prípojnice; oblasť C – káblový prívod/vývod; oblasť D – prístrojová skriňa pre sekundárne vybavenie; oblasť E – kanál výfuku plynu; 1 – prístrojové transformátory prúdu alebo kombinované senzory; 2 – prístrojové transformátory napätia (voliteľná možnosť)

Obr. 5-1 Jednotka rozvádzača UniGear typ ZS1, vytvorené na základe [1], [14], [30].

Pre zhasenie elektrického oblúku je použitý vákuový vypínač pre vysoké napätie **VD4**, vybavený elektrickým pohonom s možnosťou mechanického získania energie napínaním (Obr. 5-2). Keďže má automatické vybavenie, umožňuje vypínanie a zapínanie nezávisle na obsluhu. Získanie energie pre pružinový systém pohonu (napínanie) sa realizuje ručne alebo prevodovým motorom. Póly a pohon sú upevnené na kovovom manipulačnom podvozku, čo umožňuje pohyb prístroja dnu a von z rozvádzača. Predná časť vypínača je vybavená vypínacím tlačidlom, zapínacím tlačidlom, počítadlom spínacích cyklov, ukazovateľom vypnutej a zapnutej polohy vypínača, ukazovateľom stavu napnutia pružín pohonu a ručným napínaním zariadením.



Obr. 5-2 Ovládacie prvky vypínača VD4 [1].

Rozvodňa (Príloha O) má 2 **prívodné polia** (*incoming feeder*), ktorých parametre zobrazuje Tab. 5-4. Každé pole je napájané káblovým prívodom z distribučnej siete vn (kapitola 5.2).

Tab. 5-4 Parametre prívodných polí rozvádzača UniGear typ ZS1 [1].

počet	2	
menovité napätie	24 kV	
menovitý prúd odbočky	630 A	
menovitý prúd hlavnej prípojnice	2000 A	
menovitý krátkodobý výdržný prúd (3s)	25 kA	
menovitý dynamický výdržný prúd	63 kA	
rozmery (hlbka x výška x šírka)	1560x2583x1000 mm	
výkonový vypínač	VD4/P	
uzemňovač	EK6	
meranie napätia a prúdu	KEVCD 24 AE3	
riadiaci a ochranný terminál	REF 542plus	

Rozvodňa ďalej obsahuje **pozdĺžnu spojku prípojnic**, pre ktorú sú nutné 2 skrine. Ide o skriňu spojky s výsuvnou časťou s vypínačom a uzemňovačom v Tab. 5-5 (*bus coupler*) a skriňu s pevnou spojkou s meraním napätia na prípojniciach (*bus riser*) v Tab. 5-6.

Tab. 5-5 Parametre spojky s výsuvnou časťou rozvádzača UniGear typ ZS1 [1].

počet	1	
menovité napätie	24 kV	
menovitý prúd odbočky	630 A	
menovitý prúd hlavnej prípojnice	2000 A	
menovitý krátkodobý výdržný prúd (3s)	25 kA	
menovitý dynamický výdržný prúd	63 kA	
rozmery (hĺbka x výška x šírka)	1560x2583x1000 mm	
výkonový vypínač	VD4/P	
uzemňovač	EK6	
meranie prúdu	KEVCD 24 AG3	
riadiaci a ochranný terminál	REF 542plus	

Tab. 5-6 Parametre pevnej spojky s meraním napätia, UniGear typ ZS1 [1].

počet	1	
menovité napätie	24 kV	
menovitý prúd odbočky	630 A	
menovitý prúd hlavnej prípojnice	2000 A	
menovitý krátkodobý výdržný prúd (3s)	25 kA	
menovitý dynamický výdržný prúd	63 kA	
rozmery (hĺbka x výška x šírka)	1560x2583x800 mm	
výkonový vypínač	-	
uzemňovač	-	
meranie napätia	TJP6	
riadiaci a ochranný terminál	REF5 42plus	

**Pole merania** (Tab. 5-7) obsahuje jednotku troch prístrojových transformátorov napätia TJP6 s vložnými poistkami, a uzemňovač prípojnice (*measuring*). Z poľa merania a z poľa pevnej spojky je napätie, prostredníctvom vodičov po priebežkách, privádzané na analógové vstupy ochrán v jednotlivých vývodových poliach.

Tab. 5-7 Parametre poľa merania, UniGear typ ZS1 [1].

počet	1	
menovité napätie	24 kV	
menovitý prúd	630 A	
rozmery (hĺbka x výška x šírka)	1560x2583x800 mm	
výkonový vypínač	-	
uzemňovač	EK6	
riadiaci a ochranný terminál	-	
meranie napätia	TJP6	
$U_p = 22/\sqrt{3}$ kV	100/ $\sqrt{3}$ V, 0,2	
	100/3 V, 6P	

Rozvodňa má 4 **vývodové polia** (*outgoing feeder*) na hladine 22 kV, ktorých parametre zobrazuje Tab. 5-8. Každé pole napája káblový vývod na transformátory (kapitola 5.4).

Tab. 5-8 Parametre vývodových polí rozvádzača UniGear typ ZS1 [1].

počet	4	
menovité napätie	24 kV	
menovitý prúd odbočky	630 A	
menovitý prúd hlavnej prípojnice	2000 A	
menovitý krátkodobý výdržný prúd (3s)	25 kA	
menovitý dynamický výdržný prúd	63 kA	
rozmery (hlĺbka x výška x šírka)	1560x2583x1000 mm	
výkonový vypínač	VD4/P	
uzemňovač	EK6	
meranie prúdu	KEVCD 24 AG3	
riadiaci a ochranný terminál	REF 542plus	

Z vývodových polí 22 kV sú napájané káblovým rozvodom transformátory. Avšak zo sekundárneho vinutia transformátora 22/6 kV vedie ďalej kábel 6 kV (kapitola 5.5) na trojfázový asynchrónny motor. Situácia je znázornená v Tab. 5-9. Jeden terminál REF 542plus (v rozvádzači UniGear typ ZS1 24 kV) meria prostredníctvom senzorov primárne prúdy transformátora. Druhý terminál (umiestnený napríklad v rozvádzači UniGear typ ZS1 s menovitým napätím 7,2 kV – rozvod napätia 6 kV) meria prostredníctvom senzorov sekundárny prúd transformátora a zároveň chráni asynchrónny motor vn. V prípade chránenia motora nastáva problém, keďže je potrebných celkovo 9 senzorových analógových vstupov, čím však ochrana REF 542plus nedisponuje (maximálny počet senzorových analógových vstupov je 8). Problém možno čiastočne vyriešiť meraním len 2 fázových napätí. Ďalším dočasným problémom je prenos meranej hodnoty sekundárneho prúdu transformátora prostredníctvom senzorov, do ochrany umiestenej v rozvádzači UniGear typ ZS1 (24 kV).

Tab. 5-9 Prepojenie rozvádzača UniGear typ ZS1 s transformátorom a motorom [1].

transformátor, motor	22/6 kV, 6 kV	
menovité napätie	24 kV	
menovitý prúd odbočky	630 A	
menovitý prúd hlavnej prípojnice	2000 A	
menovitý krátkodobý výdržný prúd (3s)	25 kA	
menovitý dynamický výdržný prúd	63 kA	
výkonový vypínač	VD4/P	
uzemňovač	EK6	
meranie prúdu	1xKEVCD 24 AG3 2xKEVCD 12 AG3	
meranie napätia, prúdu	1xKEVCD 12 AE3	
riadiaci a ochranný terminál	2xREF 542plus	

## 5.4 Káblový vývod na transformátor

Postup je podobný ako v kapitole 5.2. Predpokladáme dĺžku káblu medzi rozvádzačom a každým transformátorom 10 m.

### 5.4.1 Dimenzovanie z hľadiska prevádzkovej teploty a z hľadiska účinkov skratových prúdov

Výpočtový prúd  $I_p$  pre odbočku z rozvádzača vn k svorkám transformátoru je

$$I_p = \frac{S_{rT}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1,25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3} = 32,8040 \text{ A} \quad (5.29)$$

Viacžilové káble s izoláciou XLPE budú uložené na elektroinštalačnom kanále pri teplote prostredia 30 °C s ďalšími 2 káblami rovnakého prierezu, preto sa jedná o referenčný spôsob B (Príloha D). Menovité prúdové zaťaženie vodiča  $I_n$  je

$$I_n \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2} = \frac{32,8040}{1,0 \cdot 0,70} = 46,8629 \text{ A} \quad (5.30)$$

kde  $k_1, k_2$  prepočítavacie súčinitele. Koeficient  $k_1$  zobrazuje Príloha I, koeficient  $k_2$  Príloha H. Ďalšie prepočítavacie koeficienty možno získať z normy ČSN 33 2000-5-523.

Vypočítanému prúdu  $I_n$  odpovedá najbližšie vyššie menovité zaťaženie káblu s XLPE izoláciou a hliníkovým jadrom o priereze 3x16 mm<sup>2</sup> s  $I_n = 61 \text{ A}$  (Príloha J – uloženie B2, hliník, 3xXLPE). Prepočtami podľa kapitoly 5.2.2 vyhovelo až prierez ( $q_n$ ) **3x150 mm<sup>2</sup>**. Preto možno zvoliť kábel **22-AXEKVCEY 12,7/22 kV** (Príloha F). Rezistencia na kilometer dĺžky  $R_{k22kV} = 0,206 \text{ } \Omega/\text{km}$ , indukčnosť  $L_{k22kV} = 0,39 \text{ mH/km}$ . Impedancia tohto káblu dĺžky 10 m je

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{(1)22kVT} &= (R_{k22kV} + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{k22kV}) \cdot 0,01 = (0,206 + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,39 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,01 = \\ &= (0,00206 + j \cdot 1,225 \cdot 10^{-3}) \Omega \end{aligned} \quad (5.31)$$

Kontrola výberu tohto káblu je nasledovná. Výslednú impedanciu  $Z$  tvorí impedancia sieťového napájania (kapitola 4.1  $Z_{(1)Q}$ ), impedancia káblu od pripojovacieho miesta po rozvádzač vn  $Z_{(1)22kV}$  a impedancia káblu od rozvádzača po transformátor  $Z_{(1)22kVT}$

$$\begin{aligned} \bar{Z} &= \bar{Z}_{(1)Q} + \bar{Z}_{(1)22kV} + \bar{Z}_{(1)22kVT} = (0,1692 + j \cdot 1,6924) + (0,0103 + j \cdot 6,1261 \cdot 10^{-3}) + \\ &+ (0,00206 + j \cdot 1,225 \cdot 10^{-3}) = (0,1816 + j \cdot 1,6998) \Omega \end{aligned} \quad (5.32)$$

Počiatočný súmerný rázový skratový prúd na konci káblu (na svorkách transformátoru) pri trojfázovom skrate [8]

$$I_{kmax}'' = \frac{c_{max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\bar{Z}|} = \frac{1,10 \cdot 22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot |0,1816 + j \cdot 1,6998|} = 8,173 \text{ kA} \quad (5.33)$$

Súčiniteľ pre výpočet nárazového skratového prúdu [8]  $\kappa$ , kde  $R$  značí celkovú rezistanciu obvodu,  $X$  celkovú reaktanciu obvodu zo vzťahu (5.32)

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{0,1816}{1,6998}} = 1,7313 \quad (5.34)$$

Súčiniteľ  $m$  pre  $\kappa = 1,7313$  a čas trvania skratu  $T_k = 0,8$  s je približne  $m = 1,30$  (Príloha G). Súčiniteľ  $n$  podľa [8] je pre distribučné siete rovný 1. Ekvivalentný otepľovací prúd [8] je

$$I_{th}'' = I_{kmax}'' \cdot \sqrt{m+n} = 8,173 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1,30+1} = 12,395 \text{ kA} \quad (5.35)$$

Minimálny prierez je

$$q_{nmin} = \frac{I_{th}'' \cdot \sqrt{T_k}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot \theta_f + 20}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\theta_f + \theta_k}{\theta_f + \theta_z}}} = \frac{12,395 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,8}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot 228,0 + 20}{0,02941} \cdot \ln \frac{228 + 250}{228 + 90}}} = 121,64 \text{ mm}^2 \quad (5.36)$$

kde materiálové konštanty hliníkového káblu s izoláciou zosieteného polyetylénu sú špecifický odpor  $\rho_{20} = 0,02941 \text{ } \Omega \text{mm}^2 \text{m}^{-1}$ , fiktívna teplota  $\theta_f = 228,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ , špecifické teplo  $c_0 = 2,417 \text{ Jcm}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , najvyššia dovolená teplota jadra pri skrate  $\theta_k = 250 \text{ } ^\circ\text{C}$ , najvyššia dovolená prevádzková teplota jadra vodiča  $\theta_z = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Keďže je opäť splnená podmienka  $q_n \geq q_{nmin}$ , kábel vyhovel na kontrolu tepelných účinkov skratového prúdu.

V tomto prípade je pre nastavenie nadprúdových ochrán potrebné určiť minimálny skratový prúd  $I_{kmin}''$  na konci káblového vývodu. Výslednú impedanciu  $Z_{min}$  pre jeho výpočet tvorí impedancia sieťového napájajúča ( $Z_{(1)Qmin}$  z kapitoly 4.1), impedancia použitého vn káblu od pripojovacieho miesta po rozvádzač vn  $Z_{(1)22kV}$  a impedancia káblu od rozvádzača po transformátor  $Z_{(1)22kVT}$

$$\bar{Z}_{min} = \bar{Z}_{(1)Qmin} + \bar{Z}_{(1)22kV} + \bar{Z}_{(1)22kVT} = (0,1655 + j \cdot 1,6549) + (0,0103 + j \cdot 6,1261 \cdot 10^{-3}) + (0,00206 + j \cdot 1,225 \cdot 10^{-3}) = (0,1779 + j \cdot 1,6623) \Omega \quad (5.37)$$

Počiatočný súmerný rázový skratový prúd (minimálny) na konci káblu pri trojfázovom skrate je

$$I_{kmin}'' = \frac{c_{min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\bar{Z}_{min}|} = \frac{1,00 \cdot 22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot |0,1779 + j \cdot 1,6623|} = 7,598 \text{ kA} \quad (5.38)$$

Jeho ekvivalent prepočítaný na dvojpólový skrat za predpokladu (3.12) [4] je

$$I_{kmin(L1-L2)}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{kmin}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7,598 \cdot 10^3 = 6,580 \text{ kA} \quad (5.39)$$

## 5.5 Káblový vývod na motor

Postup je podobný ako v kapitole 5.2. Káblový vývod z transformátora 22/6 kV bude prepojený s motorom, pričom celkovú dĺžku tohto káblu predpokladáme 15 m.

### 5.5.1 Dimenzovanie z hľadiska prevádzkovej teploty a z hľadiska účinkov skratových prúdov

Výpočtový prúd  $I_p$  pre kábel 6 kV medzi transformátorom 22/6 kV a motorom je

$$I_p = \frac{P_{TM}}{\sqrt{3} \cdot U_{TM} \cdot \cos \varphi} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 0,84} = 28,6384 \text{ A} \quad (5.40)$$

Viacžilové káble s izoláciou XLPE budú opäť uložené na elektroinštalačnom kanále pri teplote prostredia 30 °C s ďalšími 2 káblami rovnakého prierezu, preto sa jedná o referenčný spôsob B (Príloha D). Menovité prúdové zaťaženie vodiča  $I_n$  je

$$I_n \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2} = \frac{28,6384}{1,0 \cdot 0,70} = 40,9121 \text{ A} \quad (5.41)$$

kde  $k_1, k_2$  prepočítavacie súčinitele. Koeficient  $k_1$  zobrazuje Príloha I, koeficient  $k_2$  Príloha H. Ďalšie prepočítavacie koeficienty možno získať z normy ČSN 33 2000-5-523.

Vypočítanému prúdu  $I_n$  odpovedá najbližšie vyššie menovité zaťaženie káblu s XLPE izoláciou a medeným jadrom o priereze 3x6 mm<sup>2</sup> s  $I_n = 43 \text{ A}$  (Príloha J – uloženie B2, med', 3xXLPE). Z katalógu volíme kábel o menovitom priereze  $q_n$  **3x35 mm<sup>2</sup> 10-CXEKVCEY 6/10 kV** (Príloha K). Rezistencia na kilometer dĺžky  $R_{k6kV} = 0,524 \text{ } \Omega/\text{km}$ , indukčnosť  $L_{k6kV} = 0,63 \text{ mH/km}$ . Impedancia tohto káblu dĺžky 15 m je

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{(1)6kV} &= (R_{k6kV} + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{k6kV}) \cdot 0,015 = (0,524 + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,63 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,015 = \\ &= (7,86 \cdot 10^{-3} + j \cdot 2,9688 \cdot 10^{-3}) \Omega \end{aligned} \quad (5.42)$$

Výslednú impedanciu  $\bar{Z}$  pre výpočet skratu tvorí impedancia sieťového napájajúca (kapitola 4.1  $Z_{(1)Q}$ ), impedancia káblu od pripojovacieho miesta po rozvádzač vn (kapitola 5.2  $Z_{(1)22kV}$ ), impedancia káblu od rozvádzača po transformátor (kapitola 5.4  $Z_{(1)22kVT}$ ), impedancia transformátora 22/6 kV (kapitola 5.1.3  $Z_{(1)TK6kV}$ ) a impedancia káblu medzi týmto transformátorom a motorom  $Z_{(1)6kV}$ . Všetky impedancie okrem impedancie káblu  $Z_{(1)6kV}$  je však potrebné prepočítať na hladinu skratu, teda na hladinu 6 kV cez prevodový transformátor

$$\begin{aligned} \bar{Z} &= \bar{Z}_{(1)Q} + \bar{Z}_{(1)22kV} + \bar{Z}_{(1)22kVT} + \bar{Z}_{(1)TK6kV} \cdot \left( \frac{U_{n6kV}}{U_{n22kV}} \right)^2 + \bar{Z}_{(1)6kV} = ((0,1692 + j \cdot 1,6924) + \\ &+ (0,0103 + j \cdot 6,1261 \cdot 10^{-3}) + (0,00206 + j \cdot 1,225 \cdot 10^{-3}) + (5,1288 + j \cdot 28,8676)) \cdot \\ &\cdot \left( \frac{6 \cdot 10^3}{22 \cdot 10^3} \right)^2 + (7,86 \cdot 10^{-3} + j \cdot 2,9688 \cdot 10^{-3}) = (0,4029 + j \cdot 2,2766) \Omega \end{aligned} \quad (5.43)$$

Počiatočný súmerný rázový skratový prúd na konci káblu 6 kV (na svorkách motoru) pri trojfázovom skrate [8]

$$I''_{kmax} = \frac{c_{max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\bar{Z}|} = \frac{1,10.6.10^3}{\sqrt{3} \cdot |0,4029 + j.2,2766|} = 1648,187 \text{ A} \quad (5.44)$$

Súčiniteľ pre výpočet nárazového skratového prúdu [8]  $\kappa$ , kde  $R$  značí celkovú rezistanciu obvodu,  $X$  celkovú reaktanciu obvodu zo vzťahu (5.43)

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R}{X}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{0,4029}{2,2766}} = 1,5963 \quad (5.45)$$

Súčiniteľ  $m$  pre  $\kappa = 1,5963$  a čas trvania skratu  $T_k = 0,8$  s je približne  $m = 0,95$  (Príloha G). Súčiniteľ  $n$  podľa [8] je pre distribučné siete rovný 1. Ekvivalentný otepľovací prúd [8] je

$$I_{th} = I''_{kmax} \cdot \sqrt{m+n} = 1648,187 \cdot \sqrt{0,95+1} = 2391,568 \text{ A} \quad (5.46)$$

Minimálny prierez je

$$q_{nmin} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{T_k}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot \theta_f + 20}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\theta_f + \theta_k}{\theta_f + \theta_z}}} = \frac{2391,568 \cdot \sqrt{0,8}}{\sqrt{\frac{3,5 \cdot 234,5 + 20}{0,01786} \cdot \ln \frac{234,5 + 250}{234,5 + 90}}} = 15,13 \text{ mm}^2 \quad (5.47)$$

kde materiálové konštanty medeného káblu s izoláciou zosieteného polyetylénu sú špecifický odpor  $\rho_{20} = 0,01786 \text{ } \Omega \text{mm}^2 \text{m}^{-1}$ , fiktívna teplota  $\theta_f = 234,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ , špecifické teplo  $c_0 = 3,5 \text{ Jcm}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , najvyššia dovolená teplota jadra pri skrate  $\theta_k = 250 \text{ } ^\circ\text{C}$ , najvyššia dovolená prevádzková teplota jadra vodiča  $\theta_z = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$  [21]. Keďže je opäť splnená podmienka  $q_n \geq q_{nmin}$ , kábel vyhovel na kontrolu tepelných účinkov skratového prúdu.

**Pre nastavenie nadprúdových ochrán je potrebné určiť minimálny skratový prúd  $I''_{kmin}$**  na konci káblového vývodu k motoru. Výslednú impedanciu  $Z_{min}$  pre jeho výpočet tvorí impedancia sieťového napájача ( $Z_{(1)Qmin}$  z kapitoly 4.1), impedancia káblu od pripojovacieho miesta po rozvádzač vn (kapitola 5.2  $Z_{(1)22kV}$ ), impedancia káblu od rozvádzača po transformátor (kapitola 5.4  $Z_{(1)22kVT}$ ), impedancia transformátoru 22/6 kV (kapitola 5.1.3  $Z_{(1)TK6kV}$ ) a impedancia káblu medzi týmto transformátorom a motorom  $Z_{(1)6kV}$

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{min} &= \bar{Z}_{(1)Qmin} + \bar{Z}_{(1)22kV} + \bar{Z}_{(1)22kVT} + \bar{Z}_{(1)TK6kV} \cdot \left( \frac{U_{n6kV}}{U_{n22kV}} \right)^2 + \bar{Z}_{(1)6kV} = ((0,1655 + \\ &+ j.1,6549) + (0,0103 + j.6,1261.10^{-3}) + (0,00206 + j.1,225.10^{-3}) + (5,1288 + \\ &+ j.28,8676)) \cdot \left( \frac{6.10^3}{22.10^3} \right)^2 + (7,86.10^{-3} + j.2,9688.10^{-3}) = (0,4026 + j.2,2738) \Omega \end{aligned} \quad (5.48)$$

Počiatočný súmerný rázový skratový prúd (minimálny) na konci káblu pri trojfázovom skrate je



$$I''_{\text{kmin}} = \frac{c_{\text{min}} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\bar{Z}_{\text{min}}|} = \frac{1,00 \cdot 6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot |0,4026 + j \cdot 2,2738|} = 1500,165 \text{ A} \quad (5.49)$$

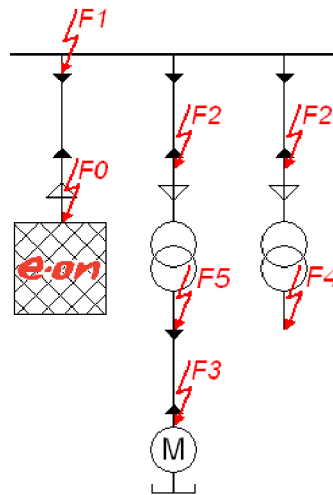
Jeho ekvivalent prepočítaný na dvojpólový skrat za predpokladu (3.12) [4] je

$$I''_{\text{kmin(L1-L2)}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_{\text{kmin}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1500,165 = 1299,181 \text{ A} \quad (5.50)$$

## 5.6 Prehľad vypočítaných skratových pomerov

Skratové pomery boli určené pomocou normy ČSN EN 60909-0 a to pre výber vhodných káblových prívodov pre rozvodňu (3x150 mm<sup>2</sup> 22-AXEKVCEY 12,7/22 kV), káblových vývodov pre transformátory 22/0,42 kV respektíve 22/6 kV (3x150 mm<sup>2</sup> 22-AXEKVCEY 12,7/22 kV) a pre napájanie motorov (3x35 mm<sup>2</sup> 10-CXEKVCEY 6/10 kV).

Pre nastavenie rozbehového prúdu skratových ochrán jednotlivých polí rozvodne budú dopočítané minimálne hodnoty skratových prúdov (miesta *F4*, *F5*) podľa Obr. 5-3.



Obr. 5-3 Označenie miest skratu v poliach rozvodne.

V hore uvedených kapitolách boli spočítané skratové pomery v miestach *F0*, *F1*, *F2* a *F3* na Obr. 5-3. V ďalšom je výpočet ostatných uvažovaných miest skratu, a to

- miesto skratu *F4* (sekundárne svorky transformátora 22/0,42 kV)

Výsledná impedancia  $Z_{\text{min}}$  pre výpočet minimálneho skratového prúdu je tvorená impedanciami  $Z_{(1)Q\text{min}}$ ,  $Z_{(1)22\text{kV}}$ ,  $Z_{(1)22\text{kV}T}$  a  $Z_{(1)TK}$  (význam jednotlivých veličín je uvedený už v Tab. 4-1)

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{\text{min}} &= \bar{Z}_{(1)Q\text{min}} + \bar{Z}_{(1)22\text{kV}} + \bar{Z}_{(1)22\text{kV}T} + \bar{Z}_{(1)TK} = \\ &= (0,1655 + j \cdot 1,6549) + (0,0103 + j \cdot 6,1261 \cdot 10^{-3}) + \\ &+ (0,00206 + j \cdot 1,225 \cdot 10^{-3}) + (2,5522 + j \cdot 21,0286) = \\ &= (2,7301 + j \cdot 22,6909) \Omega \end{aligned} \quad (5.51)$$

Keďže skrat sa nachádza napät'ovej hladine 0,42 kV a impedancie sú určené na hladine 22 kV, je ich potrebné prepočítať na hladinu 0,42 kV. Preto počiatočný súmerný rázový skratový prúd (minimálny) v mieste F4 pri trojfázovom skrate na hladine 0,42 kV je [8]

$$I''_{kmin} = \frac{c_{min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \left| \bar{Z}_{min} \cdot \left( \frac{U_{n0,42kV}}{U_{n22kV}} \right)^2 \right|} = \frac{0,95 \cdot 0,42 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \left| 2,7301 + j \cdot 22,6909 \cdot \left( \frac{0,42}{22} \right)^2 \right|} = 27,656 \text{ kA} \quad (5.52)$$

kde  $c_{min} = 0,95$  udáva Príloha A pre napätie  $U_n = 0,42$  kV.

Jeho ekvivalent prepočítaný na dvojpólový skrat za predpokladu (3.12) [4] je

$$I''_{kmin(L1-L2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_{kmin} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 27,656 \cdot 10^3 = 23,950 \text{ kA} \quad (5.53)$$

Skratová ochrana je umiestená na hladine 22 kV, preto skratové prúdy prepočítané na túto hladinu sú

$$I''_{kmin} \cdot \frac{U_{n0,42kV}}{U_{n22kV}} = 27,656 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,42}{22} = 0,528 \text{ kA} \quad (5.54)$$

$$I''_{kmin(L1-L2)} \cdot \frac{U_{n0,42kV}}{U_{n22kV}} = 23,950 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,42}{22} = 0,457 \text{ kA} \quad (5.55)$$

- miesto skratu F5 (sekundárne svorky transformátoru 22/6 kV)

Výsledná impedancia  $Z_{min}$  pre výpočet minimálneho skratového prúdu je tvorená impedanciami  $Z_{(1)Qmin}$ ,  $Z_{(1)22kV}$ ,  $Z_{(1)22kVT}$  a  $Z_{(1)TK6kV}$  (význam jednotlivých veličín je uvedený už v Tab. 4-1)

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{min} &= \bar{Z}_{(1)Qmin} + \bar{Z}_{(1)22kV} + \bar{Z}_{(1)22kVT} + \bar{Z}_{(1)TK6kV} = \\ &= (0,1655 + j \cdot 1,6549) + (0,0103 + j \cdot 6,1261 \cdot 10^{-3}) + \\ &+ (0,00206 + j \cdot 1,225 \cdot 10^{-3}) + (5,1288 + j \cdot 28,8676) = \\ &= (5,3067 + j \cdot 30,5296) \Omega \end{aligned} \quad (5.56)$$

Keďže skrat sa nachádza napät'ovej hladine 6 kV a impedancie sú určené na hladine 22 kV, je ich potrebné prepočítať na hladinu 6 kV. Preto počiatočný súmerný rázový skratový prúd (minimálny) v mieste F5 pri trojfázovom skrate na hladine 6 kV je [8]

$$I''_{kmin} = \frac{c_{min} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \left| \bar{Z}_{min} \cdot \left( \frac{U_{n6kV}}{U_{n22kV}} \right)^2 \right|} = \frac{1,00 \cdot 6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \left| 5,3067 + j \cdot 30,5296 \cdot \left( \frac{6}{22} \right)^2 \right|} = 1,503 \text{ kA} \quad (5.57)$$

kde  $c_{min} = 1,00$  udáva Príloha A pre napätie  $U_n = 6$  kV.

Jeho ekvivalent prepočítaný na dvojpólový skrat za predpokladu (3.12) [4] je

$$I''_{\text{kmin(L1-L2)}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_{\text{kmin}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,503 \cdot 10^3 = 1,302 \text{ kA} \quad (5.58)$$

Skratová ochrana je umiestená na hladine 22 kV, preto skratové prúdy prepočítané na túto hladinu sú

$$I''_{\text{kmin}} \cdot \frac{U_{\text{n6kV}}}{U_{\text{n22kV}}} = 1,503 \cdot 10^3 \cdot \frac{6}{22} = 0,410 \text{ kA} \quad (5.59)$$

$$I''_{\text{kmin(L1-L2)}} \cdot \frac{U_{\text{n6kV}}}{U_{\text{n22kV}}} = 1,302 \cdot 10^3 \cdot \frac{6}{22} = 0,355 \text{ kA} \quad (5.60)$$

Celkový prehľad skratových pomerov v poliach rozvodne zobrazuje *Tab. 5-10*.

*Tab. 5-10* Vypočítané skratové pomery v poliach rozvodne.

		hodnota skratového prúdu		
		dimenzovanie káblového prívodu/vývodu	skratové ochrany	
napät'ová hladina	skrat v mieste	$I''_{\text{kmax}}$	$I''_{\text{kmin}}$	$I''_{\text{kmin(L1-L2)}}$
$U_n$ [kV]		[kA]	[kA]	[kA]
22	F0	8,220	-	-
22	F1	8,180	-	-
22	F2	8,173	7,598	6,580
6	F3	1,648	1,500	1,299
0,42	F4	-	27,656	23,950
6	F5	-	1,503	1,302

## 6 NÁVRH SYSTÉMU CHRÁNENIA

Cieľom systému chránenia je obmedziť vznik škôd pre ľudí alebo výrobný či strojný závod, zaručiť maximálnu plynulosť výroby alebo spotreby bez ovplyvnenia porúch. Ochranný systém je súbor prístrojových transformátorov, senzorov a ochrán s určitým nastavením. Výber ochranných funkcií pre dané chránené zariadenie musí byť uskutočnený na základe

- noriem či štandardov (chránením transformátorov a asynchrónnym motorov sa v Českej republike zaoberá norma ČSN 33 3051 [28] z roku 1992 avšak nerešpektuje výhody moderných digitálnych ochrán [4]),
- prepojenia s napájacou (distribučnou) sieťou, prípustnej rizikovosti (spôsobené následkami porúch), skratových pomerov,
- konfigurácie siete a spôsobu spojenia uzla napájacej sústavy so zemou.

Výber ochranných funkcií v rozvodni určuje aj celkovú kvalitu chránenia. S rastúcim menovitým výkonom zariadenia rastú súčasne požiadavky na kvalitu chránenia. Práve na tejto skutočnosti je založená aj spomínaná norma ČSN 33 3051, definujúca minimálne požiadavky na chránenie<sup>5</sup> zariadení rozvodne (požiadavky na bezpečnú a spoľahlivú ochranu jednotlivých prvkov elektrizačnej sústavy), ktorých výber je uvedený v nasledovných kapitolách.

### 6.1 Chránenie transformátorov

Vo všeobecnosti sa poruchy transformátorov delia na [4]

- priechodzie (vplyv pripojených zariadení),
- vnútorné (poruchy transformátora).

Priechodzie poruchy pôsobia dlhšiu dobu a spôsobujú zvýšenie teploty transformátora. Ide o [4]

- preťaženie (nadprúdová časovo závislá ochrana),
- vonkajší skrat (nadprúdová časovo nezávislá ochrana – pokiaľ je na primárnej strane, niekedy sa dopĺňa podpäťovým blokováním zo sekundárnej strany). Možno použiť aj smerovú skratovú ochranu, ak sú na sekundárnu stranu pripojené významné zdroje skratových príspevkov.

Vnútorné poruchy

- objavujúce sa náhle (skraty na vinutí, svorkách) – rozdielová ochrana, nadprúdová, plynové relé,
- objavujúce sa pozvoľna (zlá izolácia plechov, mikroblúky v nádobe) – plynové relé.

Zásady istenia výkonových transformátorov rozdeľuje [35] podľa kritéria vzájomnej veľkosti prevádzkových prúdov  $I$  (i krátkodobého trvania napríklad po dobu rozbehu najväčšieho asynchrónneho motoru) a menovitých prúdov transformátorov  $I_{T}$  a to na

---

<sup>5</sup> podľa § 3 zákona č. 142/1991 Sb., o československých technických normách, v znení zákona č. 632/1992 Sb., je záväzná v pôsobnosti Slovenského úradu bezpečnosti práce a Ministerstva pro hospodárskou politiku a rozvoj ČR na základe ich požiadavku [28]. Ďalej však záleží aj na vlastníkovi či prevádzkovateľovi daného zariadenia, či zvolí vyššiu mieru chránenia než odporúča ČSN 33 3051 vzhľadom na dôležitosť zariadenia.

• prevádzkový prúd  $I$  nepresahuje menovitý prúd transformátoru  $I_{rT}$ : [35] odporúča nastaviť vypínací parameter prúdu ochrany  $I_{2r}$  na 125 % menovitého prúdu transformátoru (obdoba vzťahu 3.13) s parametrom časového oneskorenia  $t$  s ohľadom na selektivitu istenia. Pri transformátoroch do 2,5 MVA je vypínací čas od 0,3 s a väčší, avšak nie dlhší, ako je výrobcom stanovená maximálna doba trvania skratu (kovový trojfázový skrat na sekundárnej strane výkonového transformátoru), ktorý býva do 2 s. Platia teda doporučené vzťahy [35]:

$$I < I_{2r} \leq 1,25 \cdot I_{rT} \quad (6.1)$$

$$0,3 \text{ s} \leq t < 2 \text{ s} \quad (6.2)$$

• prevádzkový prúd  $I$  presahuje menovitý prúd transformátoru  $I_{rT}$ : [35] odporúča nastaviť vypínací parameter prúdu ochrany  $I_{2r}$  na hodnotu, ktorá je o 30 % väčšia ako maximálny prevádzkový prúd  $I$  (obdoba vzťahu 3.13). Pričom prekročenie menovitého prúdu transformátoru  $I_{rT}$  po dobu spúšťania najväčšieho asynchrónneho motora nespôsobí prehriatie transformátoru. Ďalej musí byť transformátor chránený pri trvalom preťažovaní prúdovou časovo závislou ochranou s inverznou charakteristikou (prevažne na strane nízkeho napätia ide o ochranu ističom). Potom je daná podmienka, aby primárny prúd na strane vn pri vzniku dvojfázového skratu na sekundárnej strane transformátoru ( $I_{k1p}$ ) bol najmenej o 25 % väčší než nastavená vypínacia hodnota prúdu ochrany  $I_{2r}$  [35], čo je zase obdobou vzťahu (3.11). Matematicky vyjadrené [35]

$$I_{2r} \geq 1,3 \cdot I \quad (6.3)$$

$$1,25 \cdot I_{2r} \leq I_{k1p} \quad (6.4)$$

$$0,3 \text{ s} \leq t < 2 \text{ s} \quad (6.5)$$

kde  $I_{2r}$  je vypínacia hodnota prúdu ochrany,  $t$  vypínací čas ochrany,  $I$  najväčší prevádzkový prúd v rámci krátkodobých špičiek pri spúšťaní elektromotorov,  $I_{k1p}$  je hodnota primárneho prúdu pri dvojfázovom skrato na nn strane transformátora.

Výber požiadaviek na chránenie transformátorov podľa [28] dopĺňa Tab. 6-1, Tab. 6-2 a Tab. 6-3.

Tab. 6-1 Ochrany transformátora v odbočke alternátora podľa ČSN 33 3051 [28].

Druh ochrany	Výkon transformátora v odbočke alternátora $S$ [MVA]		
	$S \leq 1$	$1 < S \leq 6$	$6 < S$
Nadprúdová skratová	•	•	• <sup>1)</sup>
Nadprúdová pri preťažení <sup>2)</sup>	•	•	•
Plynová	•	•	•
Rozdielová		•	•
Impedančná			• <sup>1)</sup>
Nadprúdová skratová na strane vlastnej spotreby	○	○	•

Pozn.: ○ ochrana sa doporučuje; • ochrana sa použije; <sup>1)</sup> podľa prevádzkových podmienok sa použije jedna alebo druhá ochrana; <sup>2)</sup> použije sa nadprúdová časovo nezávislá/závislá ochrana.

Tab. 6-2 Ochrany sieťových transformátorov podľa ČSN 33 3051 [28].

Druh ochrany	Výkon sieťového transformátora $S$ [MVA]				zvvn/vvvn, vvvn/vvvn
	$S \leq 1,7$	$1,7 \leq S < 5$	$5 \leq S \leq 25$	$25 \leq S$	
Nadprúdová skratová alebo impedančná (primárna) <sup>3)</sup>	•	•	•	•	•
Nadprúdová skratová (sekundárna)	•	•	•	•	•
Nadprúdová skratová (terciálna)	•	•	•	•	• <sup>6)</sup>
Nadprúdová pri preťažení <sup>4)</sup>		•	•	•	•
Plynová		•	•	•	•
Rozdielová		• <sup>1)</sup>	• <sup>1)</sup>	•	•
Zemná nádobová <sup>2)</sup>			•	•	•
Tepelná ochrana <sup>5)</sup>				○	○
Rozdielová odbočky (primárna)					•
Rozdielová odbočky (sekundárna) <sup>7)</sup>					•
Impedančná 1 (sekundárna) <sup>8)</sup>					•
Impedančná 2 (sekundárna) <sup>9)</sup>					•

Pozn.: ○ ochrana sa doporučuje; • ochrana sa použije; 1) iba vtedy, keď nevyhovie časové nastavenie nadprúdovej časovo nezávislej ochrany a nemôže byť z dôvodu selektivity použitá nadprúdová okamžiková ochrana; 2) použije sa u transformátorov s účinne uzemneným nulovým bodom (uzlom) vinutia; 3) ak nie je možné dokázať výpočtom možnosť selektívneho nastavenia prúdového člena nadprúdovej ochrany z dôvodu malého rozdielu medzi najväčším prevádzkovým prúdom a najmenším prichádzajúcim skratovým prúdom, musí byť ochrana doplnená odblokovaním jej pôsobenia pri podpätí na strane nižšieho napätia. Doporučuje sa použiť dvojstupňovú nadprúdovú ochranu. Druhý stupeň je nastavený na vyšší prúd a kratší čas a nie je doplnený odblokovaním pôsobenia pri podpätí; 4) použije sa časovo nezávislá/závislá ochrana, použije sa pokiaľ nie je použitá tepelná ochrana; 5) po dohode s výrobcom stroja a prevádzkovateľom; 6) dvojstupňová ochrana; 7) použije sa v prípade, kedy nie je možné preukázať spoľahlivé pôsobenie distančnej ochrany s ohľadom na nedostatočný skratový výkon zo strany rozvodne vvvn; 8) ochrana je nastavená smerom od transformátoru do prípojnic rozvodne vvvn; 9) ochrana je nastavená smerom do transformátoru.

Tab. 6-3 Ochrany blokoveho transformátora podľa ČSN 33 3051 [28].

Druh ochrany	Výkon blokoveho transformátora $S$ [MVA]				
	$S < 1,7$	$1,7 \leq S < 5$	$5 \leq S < 50$	$50 \leq S < 200$	$200 \leq S$
Nadprúdová skratová <sup>5)</sup>	•	•	•	•	•
Plynová	• <sup>2)</sup>	• <sup>3)</sup>	• <sup>3)</sup>	• <sup>3)</sup>	• <sup>3)</sup>
Rozdielová	○	•	•	•	•
Zemná nádobová <sup>1)</sup>			•	•	•
Nadprúdová na $I_{(0)}$ <sup>4)</sup>			•	•	•
Pri presýtení $U_{lf}$				○	○
Zemná strany vn <sup>6)</sup>			○	○	•

Pozn.: ○ ochrana sa doporučuje; • ochrana sa použije; 1) použije sa u transformátorov s účinne uzemneným nulovým bodom (uzlom) vinutia; 2) pokiaľ je transformátor plynovým relé vybavený. Pri istení výkonovými poistkami sa doporučuje, aby boli vybavené indikáciou pôsobenia; 3) samostatným plynovým relé sa vybavuje nádoba prepínača odbočiek u regulačných transformátorov; 4) použije sa u transformátorov s účinne uzemneným uzlom vinutia k blokovaniu zemnej ochrany satorového vinutia alternátora pri jednopólových skratoch na zvvn (vvvn) strane blokoveho transformátora, kedy na vn strane môže vzniknúť  $U_{(0)}$ ; 5) použije sa, ak je transformátor používaný pre nabitie vlastnej spotreby zo sústavy vvvn (zvvn), v ostatných prípadoch je chránený nadprúdovou alebo impedančnou ochranou alternátora; 6) použije sa, ak je medzi blokovým transformátorom a alternátorom inštalovaný vypínač. Ochrana je zapojená iba na návěst a indikuje prípadné zemné spojenie v sústave vn pred prifázovaním alternátora.

## 6.2 Chránenie asynchrónnych motorov

Pre chránenie asynchrónnych motorov vn možno využiť systém motorovej ochrany, ku ktorej patrí [4]

- skratová ochrana (nadprúdová okamžiková ochrana) – chráni spolu motor a prívodný kábel,
- tepelný model (chránenie proti preťaženiu),

- ochrana rozbehu (nadprúdová ochrana časovo oneskorená),
- zemná ochrana (nadprúdová ochrana časovo oneskorená) – chráni pri zemných spojeniach na káblovom vedení a v motore,
- ochrana pri vzniku nesymetrie.

Doplňkovými ochrannými funkciami sú

- ochrana pri podpätí – hranica podpätia 0,65-0,70 násobok menovitého napätia; nutné zaistenie odpojenia motorov pri výpadku napätia, aby pri jeho opätovnej obnove nedošlo k spúšťaniu motorov [4],
- čítač štartov motora,
- ochrana pri zablokovanom rotore.

Výber požiadaviek na chránenie asynchrónnych motorov zobrazuje *Tab. 6-4*, chránenie synchrónnych motorov podľa výkonu motora je zobrazené ako Príloha N.

*Tab. 6-4 Ochrany asynchrónnych motorov podľa ČSN 33 3051 [28].*

Druh ochrany	Výkon asynchrónneho motora $P$ [MW]		
	$P \leq 1$	$1 < P \leq 6$	$6 < P$
Nadprúdová skratová okamžitková	●	●	●
Nadprúdová pri preťažení <sup>1)</sup>	●	●	●
Rozdielová		○	●
Podpäťová <sup>2)</sup>	○	●	●
Pri nesúmernom zaťažení <sup>3)</sup>		○	●
Spätná wattová <sup>4)</sup>			●
Ložisková <sup>5)</sup>		●	●
Zemná <sup>6)</sup>	●	●	●

Pozn.: ○ ochrana sa doporučuje; ● ochrana sa použije; <sup>1)</sup> u motorov s ťažkým rozbehom (doba spúšťania 20 s a viac) sa použije nadprúdová ochrana závislá s tepelným modelom. Možno tiež použiť nadprúdovú ochranu časovo nezávislú pre kontrolu rozbehového prúdu; <sup>2)</sup> spoločná trojfázová dvojestupňová podpätňová ochrana; <sup>3)</sup> iba v prípadoch, kedy možno výskyt nesúmerného zaťaženia predpokladať; <sup>4)</sup> u motorov s veľkým zotrvačným momentom, kedy môže dôjsť k spätnému toku výkonu; <sup>5)</sup> po dohode s výrobcom; <sup>6)</sup> pre zaistenie správnej činnosti ochrán vn motorov pri zemnom spojení sa pripojí prúdový člen na násuvný transformátor prúdu.

### 6.3 Systém chránenia polí rozvodne s terminálom REF 542plus

Ochranný terminál REF 542plus poskytuje široké spektrum ochranných funkcií pre chránenie polí rozvodne. Ide napríklad o ochrany [30]:

- prúdové (nadprúdové, zemné),
- ochrany napäťové (ochrana pri podpätí, nadpätí),
- vedení (dištančná ochrana),
- ochrany tepelné (pre káblové vedenia, motory a transformátory),
- ochrany motorov (čítač počtu rozbehov, kontrola rozbehu motoru),
- zaisťujúce kvalitu elektrickej energie (účinník, vyššie harmonické).

**Počiatočný normálny prevádzkový stav rozvodne** je nasledovný:

- výkonové vypínače v oboch prívodných poliach sú zapnuté, výkonový vypínač v poli pozdĺžnej spojky prípojnic je vypnutý,
- ochrany umiestnené v prívodných poliach tvoria zálohu ochranám vo vývodových poliach rozvodne (s dodržaním časovej selektivity).

V prípade **straty napájania** v jednom z prívodných polí rozvodne, môže byť zapnutý výkonový vypínač v poli pozdĺžnej spojky prípojnic, a tým aj zaistenie zvýšeného stupňa zabezpečenia dodávky elektrickej energie (touto manipuláciou jedno prívodné pole napája obe sekcie rozvodne). Ochrany umiestnené vo vývodových poliach druhej sekcie rozvodne majú zálohu v podobe ochrany v poli pozdĺžnej spojky prípojnic a v prívodnom poli (ktoré napája obe sekcie).

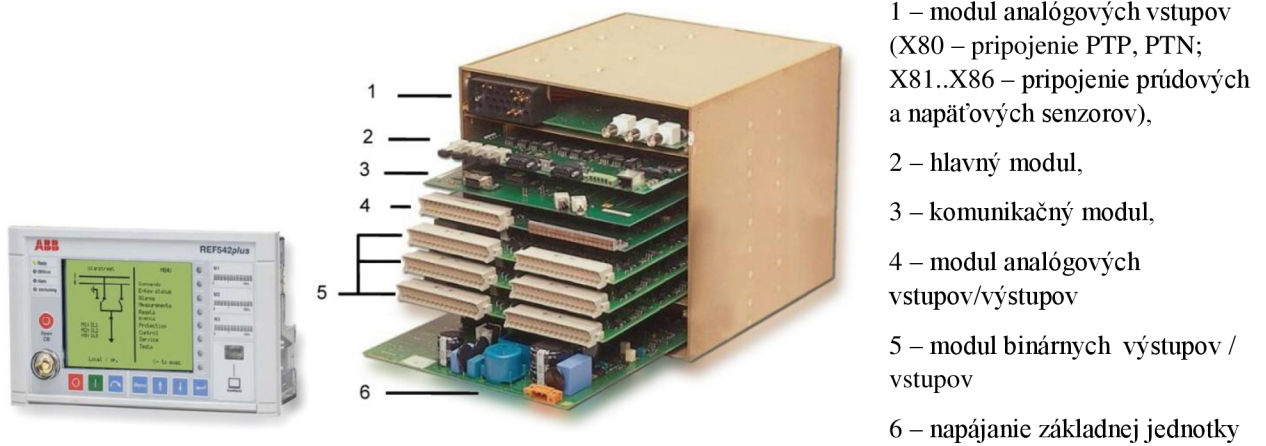
Ochranné funkcie, ktoré budú použité pri chránení jednotlivých polí rozvodne vysokého napätia na Obr. 4-1 zobrazuje Tab. 6-5. Boli zvolené podľa teoretických poznatkov z kapitoly 3.2 a odporúčenia normy ČSN 33 3051. V prípade ďalšieho rozšírenia ochranných funkcií by sa dali použiť ešte ďalšie 2 záložné stupne pôsobenia nadprúdovej ochrany ( $> low$ ,  $>> high$ ).

Tab. 6-5 Ochranné funkcie použité pri chránení polí rozvodne.

pole rozvodne	ANSI kód a ochranná funkcia	popis	
<i>incoming feeder 1, 2</i>	27	podpäťová ochrana	pokles napätia
	50	nadprúdová okamžitková ochrana	ochrana pri vzniku skratu
<i>outgoing transformer 1, 2</i>	50	nadprúdová okamžitková ochrana	ochrana pri vzniku skratu
	67N	zemná smerová ochrana	ochrana pri zemnej poruche
<i>outgoing motor 1, 2</i>	27	podpäťová ochrana	odpojenie, pokles momentu
	49	tepelná ochrana motora	ochrana pri preťažení
	50	nadprúdová okamžitková ochrana	ochrana pri vzniku skratu
	51LR	nadprúdová s časovým oneskorením	pri zablokovanom rotore
	48	neukončený sled funkcií	ochrana rozbehu motora
	67N	zemná smerová ochrana	ochrana pri zemnej poruche
	51N	nadprúdová s časovým oneskorením	zemná ochrana $I_{(0)}$ motora
	66	čítač počtu rozbehov	povolený počet rozbehov
	87M	rozdielová ochrana motora	vnútorná porucha
87T	rozdielová ochrana transformátora	vnútorná porucha	
<i>bus coupler</i>	50	nadprúdová okamžitková ochrana	ochrana pri vzniku skratu

Ochranný terminál REF 542*plus* sa skladá z dvoch častí (podľa Obr. 6-1) a to zo základnej jednotky (*Base Unit*) a oddelenej jednotky pre ovládanie HMI (*Human Machine Interface*) navzájom prepojenými sériovým káblom. Základná jednotka terminálu sa skladá z niekoľkých modulov (hlavný modul, modul analógových vstupov, moduly binárnych vstupov a výstupov, moduly analógových vstupov a výstupov). HMI jednotka umožňuje nastaviť ochranné funkcie, ovládať spínacie prvky, zobrazovať merané hodnoty a udalosti [30].





Obr. 6-1 Ovládacia a základná jednotka terminálu REF 542plus [30].

Jednotka REF 542plus môže byť prepojená so systémom kontroly (kontrolnou a riadiacou stanicou) čo znamená, že riadiaca stanica má prístup ku všetkým informáciám o rozvádzači (monitorovanie, ovládanie, meranie, záznamy zmien stavu). Pre pripojenie k systému kontroly možno využiť nasledovné protokoly [30]:

- ABB SPABUS, ABB LON bus, MODBUS RTU,
- IEC 60870-5-103 a IEC 61850-8-1 (iba vertikálna komunikácia).

## 7 VÝPOČET PARAMETROV A NASTAVENIE OCHRANNÝCH FUNKCIÍ


Keďže výrobca ochrany pri nastavovaní ochranných funkcií definuje vlastné označenie parametrov, v ďalšom budú používané označenia podľa *REF 542plus – Protection Functions: Configuration and Settings, Protection Manual* [32] avšak ich funkcia je rovnaká ako v teoretickom popise ochranných funkcií.

Prehľad použitých ochranných funkcií spolu s nastavením parametrov v každom poli rozvodne zobrazuje Príloha O.

### 7.1 Rozdielová ochrana transformátora 22/6 kV

Základný funkčný blok rozdielovej ochrany transformátora realizovaný v jazyku FUPLA a jeho popis zobrazuje *Tab. 7-1*.

*Tab. 7-1 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku rozdielovej ochrany transformátora* [32].

<i>Differential Protection (87T)</i>	názov	popis	
	<b>vstupy</b>	BS	blocking signal (po aktivovaní reset funkcie)
	<b>výstupy</b>	TRIP	trip signal (aktivovaný pri prekročení prahovej $I_d$ )
		BH2	block by 2 <sup>nd</sup> harmonic signal
		BH5	block by 5 <sup>th</sup> harmonic signal
		GB	general block output signal

Pri nastavení ochranných funkcií je ďalej potrebné zdefinovať parametre podľa *Tab. 7-2*.

*Tab. 7-2 Parametre pre nastavenie rozdielovej ochrany transformátora* [32].

<i>transformer group</i>	hodinový uhol transformátora (0..11)
<i>transformer earthing</i>	uzemnenie uzla transformátora (primár, sekundár)
<i>primary nominal current</i>	menovitý prúd transformátora na primárnej strane $I_{rTHV}$
<i>secondary nominal current</i>	menovitý prúd transformátora na sekundárnej strane $I_{rTLV}$
<i>threshold current</i>	prahová hodnota $I_{d0}$ v oblasti A Obr. 3-8
<i>unbiased region limit</i>	prahová hodnota $I_{b0}$ v oblasti A Obr. 3-8
<i>slightly biased region threshold</i>	prahová hodnota $I_{d1}$ v oblasti B Obr. 3-8
<i>slightly biased region limit</i>	prahová hodnota $I_{b1}$ v oblasti B Obr. 3-8
<i>heavily biased slope (S)</i>	strmosť charakteristiky v oblasti C Obr. 3-8
<i>trip by Id&gt;</i>	hraničná hodnota rozdielového prúdu

V ďalšom bude uvažované s prahovými hodnotami prúdov, ktoré sú vzťahnuté k menovitým prúdom výkonového transformátora či už voči primárnej strane  $I_{rTHV}$  alebo voči sekundárnej strane  $I_{rTLV}$ . Zo znalosti štítkových údajov transformátora možno určiť spomínané menovité hodnoty prúdov na primárnej (D) a sekundárnej (y) strane ako

$$I_{rTHV} = \frac{S_{rT}}{3 \cdot U_{rTHV}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{3 \cdot 22 \cdot 10^3} = 15,15 \text{ A} \quad (7.1)$$

$$I_{rTLV} = \frac{S_{rT}}{\sqrt{3} \cdot U_{rTLV}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 96,225 \text{ A} \quad (7.2)$$

Stanovenie prahovej hodnoty rozdielového prúdu  $I_{d>}$  bude určené za predpokladu, že je transformátor pripojený na napäťovú hladinu 22 kV a vznikne porucha na strane 6 kV (blízko svoriek transformátoru). Pri predpoklade, že skratový výkon napájacieho systému je nekonečne veľký a nie je uvažované pôsobenie prepínača odbočiek, možno podľa [31] vyjadriť prúdy nakrátko na primárnej a sekundárnej strane ako

$$I_{k1p} = \frac{100}{u_{kr}} \cdot I_{rTHV} = \frac{100}{6} \cdot 26,243 = 437,383 \text{ A} \quad (7.3)$$

$$I_{k2p} = \frac{100}{u_{kr}} \cdot I_{rTLV} = \frac{100}{6} \cdot 96,225 = 1603,750 \text{ A} \quad (7.4)$$

Pre zaručené pôsobenie rozdielovej ochrany pri tejto poruche je prahová hodnota  $I_{d>}$  nastavená na 80 % vypočítanej hodnoty (bezpečnostný koeficient  $k_b = 0,8$ ) [31]. Teda pre nastavenie hodnoty  $I_{d>}$  v pomerných jednotkách (p.u.) použijeme vzťah [31]

$$\text{trip by } I_{d>} = k_b \cdot \frac{100}{u_{kr}} = k_b \cdot \frac{I_{k1p}}{I_{rTHV}} = k_b \cdot \frac{I_{k2p}}{I_{rTLV}} = 0,8 \cdot \frac{100}{6} = 13,33 \text{ p.u.} \quad (7.5)$$

Naopak, pri prevádzkových podmienkach vypínacia charakteristika môže byť definovaná [31]

- malé zaťaženie, zátťažný prúd v rozmedzí 0-0,6 $I_r$
- normálne a stredné zaťaženie, zátťažný prúd v rozmedzí 0,4-2,0 $I_r$
- ťažké zaťaženie (krátkodobo), zátťažný prúd v rozmedzí 2,0 $I_r$  a vyšší.

**Malé zaťaženie transformátora:** rozdielová ochrana by mala byť veľmi citlivá. Nastavenie prahovej hodnoty  $I_{b0}$  vyplýva z magnetizačného prúdu transformátora pri stave naprázdno, a pri malom zaťažení toto nastavenie uvádza [31] až do hodnoty 0,5 $I_r$ , preto

$$\text{unbiased region limit} = 0,5 \text{ p.u.} \quad (7.6)$$

Pri predpoklade rozsahu regulácie napätia  $p_t = \pm 2 \times 2,5 \%$  a magnetizačného prúdu transformátora ako 5 % menovitého prúdu ( $I_{d0} = 5 \% \cdot I_r$ ), bude [31]

$$\text{chyba prepínača odbočiek} = 2.2,5\% \cdot I_{b0} = 2.2,5\% \cdot 0,5 \cdot I_r = 2,5\% \quad (7.7)$$

a prahová hodnota  $I_{d0}$  (koeficient bezpečnosti  $k_b = 1,2$ ) rovná [31]

$$\begin{aligned} \text{threshold current} &= k_b \cdot \text{chyba prepínača odbočiek} + \text{magnetizačný prúd} + 2 \cdot RC = \\ &= 1,2 \cdot \left( \frac{2,5}{100} + \frac{5}{100} + 2,0 \right) = 0,09 \rightarrow 0,10 \text{ p.u.} \end{aligned} \quad (7.8)$$

keď neuvažujeme chybu prúdového senzoru v oblasti malých prúdov ( $RC = 0 \%$ ).

Ako bolo uvedené, zátťažný prúd v oblasti **normálneho a stredného zaťaženia** (oblasť B Obr. 3-8) by nemal presiahnuť hodnotu 2 $I_r$ . Celková chyba rozdielového prúdu v tomto prípade je určená opäť chybou prepínača odbočiek a možnou chybou prúdových senzorov (na primárnej a sekundárnej strane transformátora, avšak  $RC = 0 \%$ ) a jej hodnota je preto 2,2,5 % = 5 %.

V tejto oblasti je predpokladaný bezpečnostný koeficient  $k_b = 1,2$ . Môžeme teda určiť prahovú hodnotu rozdielového prúdu  $I_{d1}$  [31]

$$\begin{aligned} \text{slightly biased region threshold} &= k_b \cdot \text{celková chyba} \cdot 2 \cdot I_r - 0,5 \cdot I_r + \text{celková chyba} = \\ &= 1,2 \cdot \frac{5}{100} \cdot 2 - 0,5 + \frac{5}{100} = 0,14 \rightarrow 0,20 \text{ p.u.} \end{aligned} \quad (7.9)$$

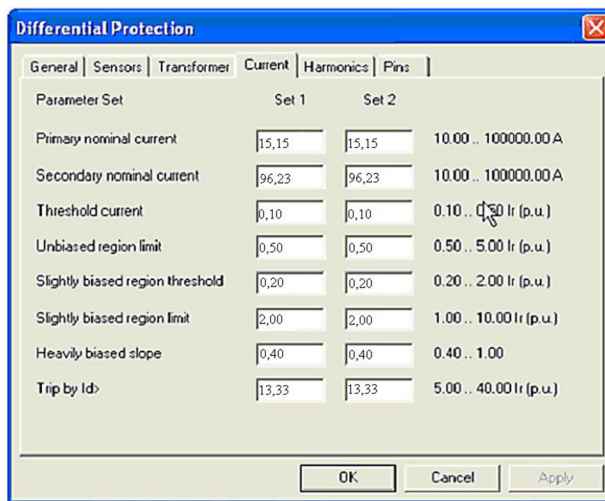
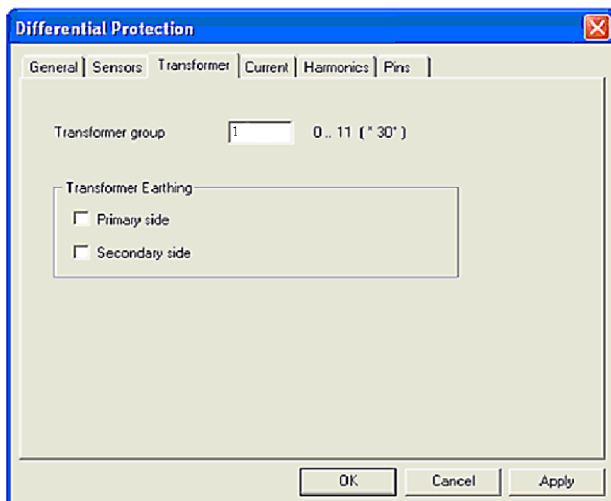
a prahovú hodnotu  $I_{b1}$  (vychádza z hore uvedeného predpokladu)

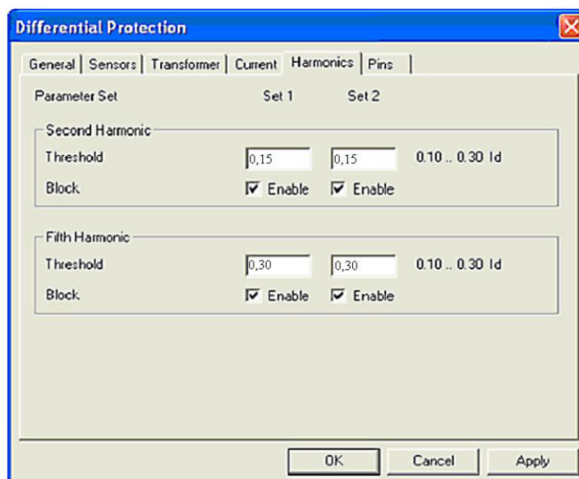
$$\text{slightly biased region limit} = 2 \cdot I_r = 2 \text{ p.u.} \quad (7.10)$$

V porovnaní s bežnými transformátormi prúdu, kedy pri priechodzej poruche môže dôjsť k ich presýteniu, voľba strmosti v oblasti  $C$  na Obr. 3-8 nemusí byť nastavená na maximálnu možnú hodnotu (1,00). Preto toto nastavenie je zvolené naopak na najmenšiu možnú hodnotu

$$\text{heavily biased slope} = 0,40 \quad (7.11)$$

Transformátor je v zapojení Dy1, preto nastavenie *Transformer group* = 1, a uzemnená nie je ani jedna strana transformátora (Obr. 7-1). Pre blokovanie rozdielovej ochrany pri zapínanom ráze, popísané v teoretickej časti, je využité empirické nastavenie [31] pre druhú harmonickú *Second Harmonic Threshold* =  $0,15 \cdot I_d$ , a pre piatu harmonickú *Fifth Harmonic Threshold* =  $0,30 \cdot I_d$ .





Obr. 7-1 Nastavenie parametrov rozdielovej ochrany transformátora 22/6 kV.

## 7.2 Motorová ochrana

### 7.2.1 Tepelná ochrana motora

Funkčný blok tepelnej ochrany motora v jazyku FUPLA a jeho popis zobrazuje Tab. 7-3.

Tab. 7-3 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku tepelnej ochrany motora [32].

Thermal Overload Protection (49)		názov	popis
	vstupy	BS	blocking signal (po aktivovaní reset funkcie)
		RST	reset signal (po spustení je odhadnutá teplota motora nastavená na parameter $Trst$ )
	výstupy	WARN	warning signal (aktivovaný, keď vypočítaná teplota prekročí prahovú hodnotu $Twarn$ )
		TRIP	trip signal (aktivovaný, keď vypočítaná teplota prekročí prahovú hodnotu $Ttrip$ )
		OV.HEAT	overheat signal (aktivovaný, keď vypočítaná teplota prekročí prahovú hodnotu menovitej teploty motora $TMn$ )
		SENS.ERR.	sensor error (detekovaná porucha senzoru, ktorý priamo meria vonkajšiu teplotu okolia $Tenv$ )

Pri nastavení ochranných funkcií je ďalej potrebné zadať parametre podľa Tab. 7-4.

Tab. 7-4 Parametre pre nastavenie tepelnej ochrany motora [32].

$TMn$	menovitá teplota motora (prípustná prevádzková teplota)	$TCOverheat$	časová konštanta pri $I > 2 \cdot IMn$ (motor pri štarte, akcelerácii – podmienka preťaženia)
$IMn$	menovitá hodnota prúdu motora vztiahnutá k menovitému prúdu prúdového senzoru $In$	$Ttrip$	teplota prekračujúca podmienku vypnutia
$Tini$	počiatočná teplota motora po pripojení na napájacie napätie	$Twarn$	teplota prekračujúca podmienku výstrahy
$TCoff$	časová konštanta pre ochladenie motora pri $I < 0,1 \cdot IMn$ (motor v prestoji)	$Tenv$	teplota okolia
$TCNormal$	časová konštanta pri $0,1 \cdot IMn < I < 2 \cdot IMn$ (motor v bežnej prevádzke)	$Trst$	teplota po aktivovaní signálu RST (reset funkcie)

Z kapitoly 5.1.2 respektíve z katalógových údajov určíme menovitú hodnotu prúdu motora vzťahnutú k menovitému prúdu senzoru  $I_n$

$$IMn = \frac{I_{rM}}{I_n} = \frac{30}{30} = 1,000 \quad (7.12)$$

Vinutie motora je v triede izolácie F (*insulation class*) a maximálny možný nárast teploty je v triede B (*temperature rise class*) 80 °C (Obr. 3-11). Motor je konštruovaný na teplotu okolia (*ambient temperature*)

$$Tenv = \theta_o = 40 \text{ °C} \quad (7.13)$$

Výsledkom triedy izolácie F a nárast teploty v triede B je menovitá teplota motora  $TMn$  pre ochranný terminál REF 542plus

$$TMn = \theta_{rM} = 40 + 80 = 120 \text{ °C} \quad (7.14)$$

a maximálna teplota prekračujúca podmienku vypnutia<sup>6</sup> z Tab. 3-3 respektíve Tab. 3-5

$$Ttrip(max) = \theta_{t(max)} = 155 \text{ °C} \quad (7.15)$$

Konštanta  $k$  vyjadrujúca preťaženie zo vzťahu (3.17) je

$$k = \sqrt{\frac{\theta_t - \theta_o}{\theta_{rM} - \theta_o}} = \sqrt{\frac{155 - 40}{120 - 40}} \doteq 1,2 \quad (7.16)$$

Podľa [33] možno určiť teplotu, ktorá prekračuje podmienku vypnutia (obsah tepelnej pamäte rozšírený na 144 %) ako

$$Ttrip = \theta_t = k^2 \cdot TMn - Tenv + Tenv = 1,2^2 \cdot 120 - 40 + 40 = 155 \text{ °C} \quad (7.17)$$

a teplotu, prekračujúcu podmienku výstrahy (120 % obsahu tepelnej pamäte)

$$Twarn = \left( \frac{120}{100} \cdot TMn - Tenv \right) + Tenv = \left( \frac{120}{100} \cdot 120 - 40 \right) + 40 = 136 \text{ °C} \quad (7.18)$$

Pre určenie počiatkovej teploty motora po jeho pripojení na napájacie napätie  $Tini$  odporúča [33] výber teploty motora v zahriatom stave motora, napríklad teploty pri 100 % obsahu tepelnej pamäte

$$Tini = TMn - Tenv + Tenv = 120 - 40 + 40 = 120 \text{ °C} \quad (7.19)$$

<sup>6</sup> ak by vinutie motora bolo definované triedou izolácie a teplotnou triedou T1..T6, namiesto 80 °C sa použije hodnota z Tab. 3-4.

Ďalej je známy čas 20 s ( $t_{6x}$ ), do ktorého dosiahne studený motor svoju maximálnu prevádzkovú teplotu pri prúde  $6 I_{IB}$  a maximálny záberný prúd  $I_{LR} = 5,8 \cdot I_{rM}$ . Potom časovú otepľovaciu konštantu vyjadríme ako [33]

$$\tau = \frac{t_{6x}}{\ln \frac{\left(\frac{I_{LR}}{I_{rM}}\right)^2 - \left(\frac{I_p}{I_{rM}}\right)^2}{\left(\frac{I_{LR}}{I_{rM}}\right)^2 - k^2}} = \frac{20}{\ln \frac{5,8^2 - 1}{5,8^2 - 1,2^2}} \doteq 1474 \text{ s} \quad (7.20)$$

kde pomer  $I_p/I_{rM} = 1$  značí, že motor bol pred vznikom preťaženia zaťažovaný menovitým prúdom (*hot state – 100 % preloading*).

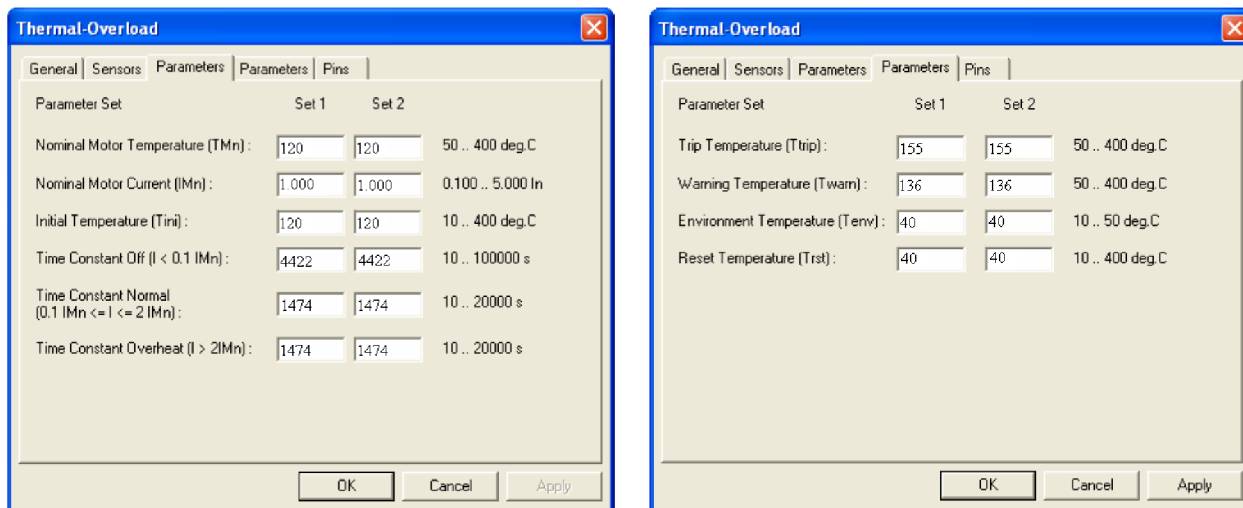
Zo vzťahu (7.20) vyplývajú ďalšie parametre pre nastavenie tepelnej ochrany motora a to

$$TCNormal = TCOverheat = \tau = 1474 \text{ s} \quad (7.21)$$

Časovú konštantu pre ochladenie motora uvažuje [33] ako trojnásobok časovej otepľovacej konštanty

$$TCOff = 3 \cdot \tau = 3 \cdot 1474 = 4422 \text{ s} \quad (7.22)$$

Výsledné parametre tejto ochrannej funkcie možno nastaviť prostredníctvom programu *Configuration Tool* pre terminál REF 542plus, čo zobrazuje Obr. 7-2.



Obr. 7-2 Nastavenie parametrov tepelnej ochrany motora.

## 7.2.2 Rozdielová ochrana motora vn

Pre jej nastavenie využijeme štítkové údaje, ktoré zobrazuje v kapitole 5.1.2 Tab. 5-2. Pretože porovnávané prúdy na oboch koncoch statorového vinutia motora nie sú vektorovo posunuté, bude nastavené *Transformer group* = 0. Zabrzdzený motor predstavuje pre sieť trojfázový skrat na konci statorového vinutia motora. Pre správne pôsobenie ochrany pri tejto poruche musí byť maximálny možný rozdielový prúd  $I_{d>}$  vo vypínacej charakteristike nastavený na hodnotu (7.23) [31] pri koeficiente bezpečnosti  $k_b = 0,8$

$$\text{trip by } Id > = k_b \cdot \frac{I_{LR}}{I_{rM}} = 0,8 \cdot 5,8 = 4,64 \text{ p.u.} \rightarrow 5,00 \text{ p.u.} \quad (7.23)$$

Opäť ako pri vypínacej charakteristike rozdielovej ochrany transformátoru, aj tu je vypínacia charakteristika definovaná v troch oblastiach. **Pre malé prúdové zaťaženie** v rozmedzí do  $0,5 \cdot I_r$  musí byť rozdielová ochrana veľmi citlivá. Rozdielový prúd v tejto oblasti závisí na presnosti použitých senzorov, preto pre prahové hodnoty môže byť použité najmenšie nastavenie ochrany [31] ako

$$\text{threshold current} = 0,10 \text{ p.u.} \quad (7.24)$$

$$\text{unbiased region limit} = 0,50 \text{ p.u.} \quad (7.25)$$

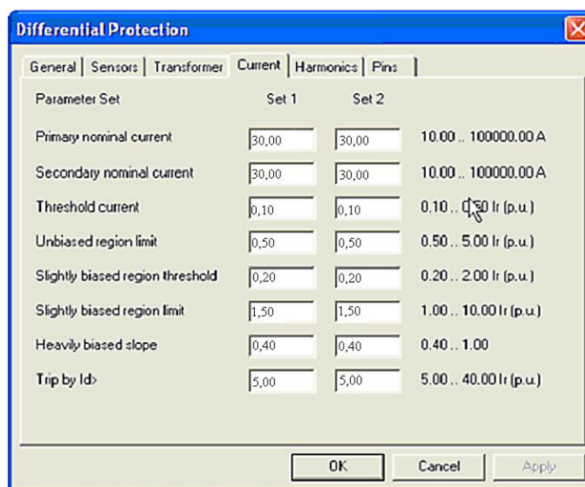
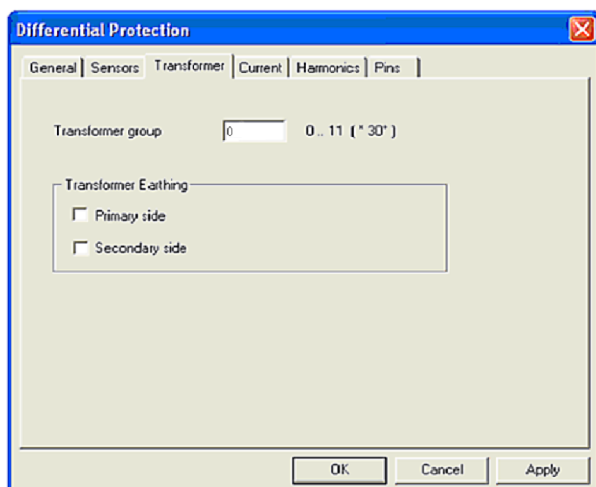
Nastavenie v rozmedzí prúdov od  $0,5$  do  $1,5 \cdot I_r$  uvádza [31] prahové hodnoty vo vypínacej charakteristike (pri chybe prúdových senzorov  $RC = 0 \%$ , a  $k_b = 1,2$ )

$$\begin{aligned} \text{slightly biased region threshold} &= 1,5 \cdot I_r - 0,5 \cdot I_r \cdot k_b \cdot RC + \text{threshold current} = \\ &= 1,5 \cdot I_r - 0,5 \cdot I_r \cdot 1,2 \cdot 0 + 0,10 \cdot I_r = 0,10 \cdot I_r \rightarrow 0,20 \cdot I_r \end{aligned} \quad (7.26)$$

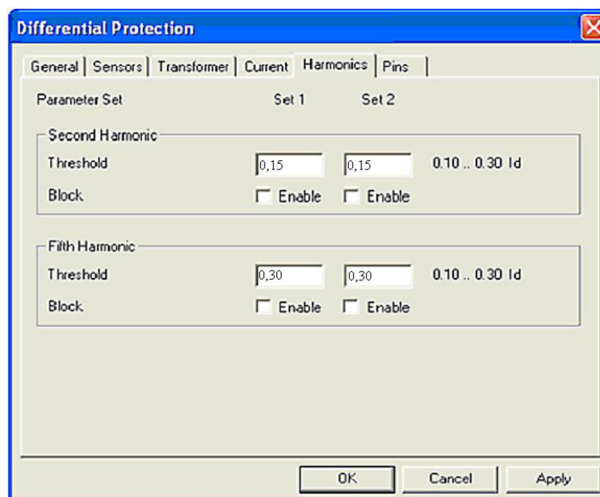
$$\text{slightly biased region limit} = 1,50 \text{ p.u.} \quad (7.27)$$

$$\text{heavily biased slope} = 0,40 \text{ p.u.} \quad (7.28)$$

Menovitý prúd motora z Tab. 5-2  $I_{rM} = 30 \text{ A}$ , teda *Primary nominal current*, *Secondary nominal current* = 30 A. Podľa [31] pre ochranu motora, nie je potrebné blokovat' druhú a piatu harmonickú, pretože prúdy tečúce oboma prúdovými senzormi počas normálnej prevádzky sú vždy rovnaké. Celkové nastavenie parametrov rozdielovej ochrany motora zobrazuje Obr. 7-3.







Obr. 7-3 Nastavenie parametrov rozdielovej ochrany motora vn.

### 7.2.3 Ochrana pri zablokovanom rotore

Funkčný blok tejto ochrannej funkcie v jazyku FUPLA a jeho popis zobrazuje Tab. 7-5.

Tab. 7-5 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku ochrany pri zablokovanom rotore [32].

Overcurrent relay with inverse time (51), locked rotor LR	názov	popis	
	vstupy	BS blocking signal	
	výstupy	TRIP	trip signal
		S L1	start signal $I_{L1}$ (po dosiahnutí <i>Start Value Is</i> )
		S L2	start signal $I_{L2}$ (po dosiahnutí <i>Start Value Is</i> )
		S L3	start signal $I_{L3}$ (po dosiahnutí <i>Start Value Is</i> )

Pri nastavení ochranných funkcií je ďalej potrebné zadefinovať parametre podľa Tab. 7-6.

Tab. 7-6 Parametre pre nastavenie ochrany pri zablokovanom rotore [32].

<i>Nominal Motor Current <math>IMn</math></i>	menovitý prúd motora vzťahnutý k $In$
<i>Start Value <math>Is</math></i>	prahová hodnota prúdu vzťahnutá k $IMn$
<i>Time</i>	časové oneskorenie vypnutia

Menovitý prúd motora vzťahnutý k  $In$  (menovitému prúdu  $RPV$ )

$$IMn = \frac{I_{rM}}{In} = \frac{30}{80} = 0,375 \quad (7.29)$$

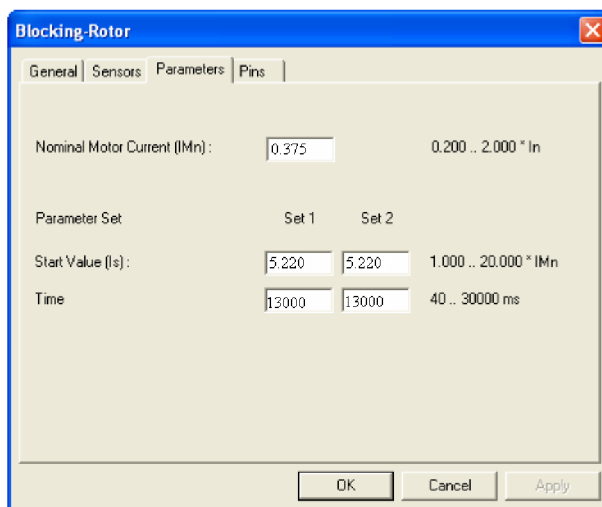
Pre detekciu zablokovania rotora je použité nadprúdové kritérium. Pri predpoklade prahovej hodnoty  $Is$  ako 90 % prúdu  $I_{LR}$  je [33]

$$Start\ Value\ Is = 0,9 \cdot \frac{I_{LR}}{I_{rM}} = 0,9 \cdot 5,8 = 5,22 \cdot IMn \quad (7.30)$$

Časové oneskorenie pre vypnutie *Time* sa volí ako hodnota väčšia alebo rovná dobe rozbehu motora (*start time* = 8 s) a zároveň menšia než hodnota *stall time* (20 s), preto

$$Time = 13 \text{ s} = 13000 \text{ ms} \quad (7.31)$$

Celkové nastavenie parametrov ochrany pri zablokovanom rotore zobrazuje Obr. 7-4.



Obr. 7-4 Nastavenie parametrov ochrany pri zablokovanom rotore.

## 7.2.4 Ochrana rozbehu motora

Funkčný blok tejto ochrannej funkcie v jazyku FUPLA a jeho popis zobrazuje Tab. 7-7.

Tab. 7-7 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku ochrany rozbehu motora [32].

Incomplete sequence relay (48), motor start protection		názov	popis
	vstupy	BS	blocking signal
	výstupy	START	start signal (prúd dosiahne 10 % hodnoty $IM_n$ a v 100 ms nastavenú prahovú hodnotu $IM_s$ )
		TRIP	trip signal (aktivovaný po prekročení $Is \cdot Time$ )
		BO	block output signal (aktivovaný až do hodnoty prúdu 10 % $IM_n$ )

Pri nastavení ochranných funkcií je ďalej potrebné zdefinovať parametre podľa Tab. 7-8.

Tab. 7-8 Parametre pre nastavenie ochrany rozbehu motora [32].

<b>Nominal Motor Current <math>IM_n</math></b>	menovitý prúd motora vzťahnutý k $I_n$
<b>Start Value <math>Is</math></b>	prahová hodnota prúdu
<b>Time</b>	dovolený čas pre integrál $I^2t$
<b>Motor Start <math>IM_s</math></b>	prúd určujúci rozbeh motora vzťahnutý k $Is$

Menovitý prúd motora vzťahnutý k  $I_n$  (RPV)

$$IM_n = \frac{I_{rM}}{I_n} = \frac{30}{30} = 1,000 \quad (7.32)$$

Prahová hodnota prúdu pre spúšťanie motora  $Is$  ako násobok menovitého prúdu motora  $I_{rM}$  [33]

$$\text{Start Value } I_s = \frac{I_{LR}}{I_{rM}} \cdot IMn = 5,8 \cdot IMn \quad (7.33)$$

$$\text{Time blocking time} = 20 \text{ s} = 20000 \text{ ms} \quad (7.34)$$

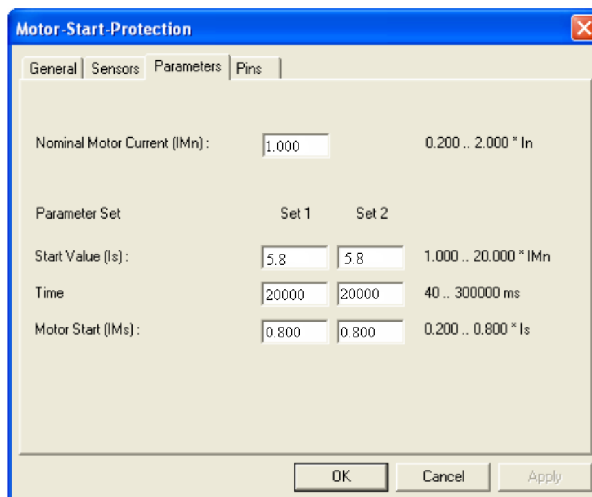
Hodnotu prúdu, kedy začína ochrana počítať pre sledovanie rozbehu motora takzvaný prúdovo-časový integrál  $I_s^2 \cdot \text{Time}$ , je určený vzhľadom na najkratší čas vypnutia, teda nastavenie je [33]

$$\text{Motor Start } IMs = 0,800 \cdot I_s \quad (7.35)$$

čo znamená, že vypínací signál je vygenerovaný ochranou za časový interval [33]

$$t = \frac{\left(\frac{I_{LR}}{I_{rM}}\right)^2 \cdot \text{Time}}{\left(\frac{I_{LR}}{I_{rM}} \cdot IMs\right)^2} = \frac{5,8^2 \cdot 20}{5,8 \cdot 0,8^2} = 31,3 \text{ s} \quad (7.36)$$

Celkové nastavenie parametrov ochrany rozbehu motora zobrazuje Obr. 7-5.



Obr. 7-5 Nastavenie parametrov ochrany rozbehu motora.

## 7.2.5 Čítač počtu rozbehov motora

Funkčný blok tejto ochrannej funkcie v jazyku FUPLA a jeho popis zobrazuje Tab. 7-9.

Tab. 7-9 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku čítača počtu rozbehov motora [32].

Number of operations (66), number of starts		názov	popis
	vstupy	BS	blocking signal
		SI	motor start signal
	výstupy	WARN	warning signal (aktivovaný po dosiahnutí prahových $N_{cs}$ alebo $N_{ws}$ )
		TRIP	trip signal

Pri nastavení ochranných funkcií je ďalej potrebné zadefinovať parametre podľa Tab. 7-10.

Tab. 7-10 Parametre pre nastavenie čítača počtu rozbehov motora [32].

<b>Max Num. Of Warm Starts (Nws)</b>	max. počet štartov pri teplote nad $T_{ws}$
<b>Max Num. Of Cold Starts (Ncs)</b>	max. počet štartov pri teplote pod $T_{ws}$
<b>Reset Time (t<sub>rst</sub>)</b>	čas potrebný na schladenie motora po štarte
<b>Warm Start Temp. Threshold (Tws)</b>	prahová hodnota teploty (warm start)

Počty štartov „za studena“ a „za tepla“ definuje výrobca motora. Z katalógového listu motora typu M3BM [3] boli zistené tieto údaje

$$\text{Warm Starts } N_{ws} = 2 \quad (7.37)$$

$$\text{Cold Starts } N_{cs} = 3 \quad (7.38)$$

Prahová hodnota teploty  $T_{ws}$  je uvažovaná pri dosiahnutí 90 % tepelnej kapacity motora [33]

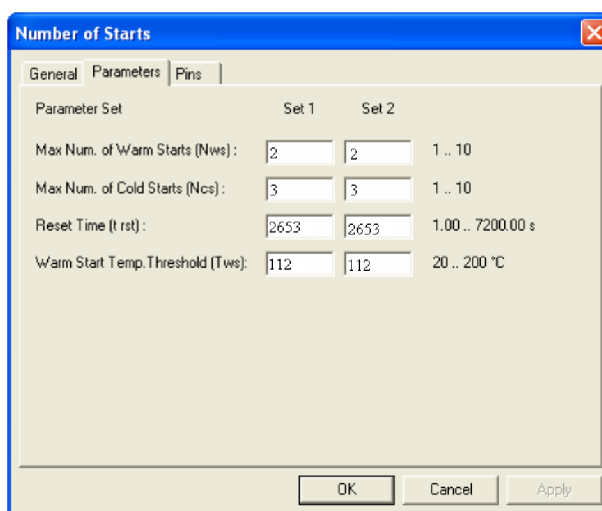
$$T_{ws} = 0,90 \cdot T_{Mn} - T_{env} + T_{env} = 0,90 \cdot 120 - 40 + 40 = 112 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7.39)$$

kde  $T_{Mn}$  je menovitá teplota motora zo vzťahu (7.14) a  $T_{env}$  je teplota okolia zo vzťahu (7.13).

Podľa [33] môže byť pre čas  $t_{rst}$  uvažovaná hodnota 60 % časovej konštanty  $TC_{off}$  (7.22)

$$t_{rst} = 0,60 \cdot TC_{off} = 0,60 \cdot 4422 \div 2653 \text{ s} \quad (7.40)$$

Celkové nastavenie parametrov pre nastavenie čítača počtu rozbehov motora zobrazuje Obr. 7-6.

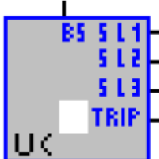


Obr. 7-6 Nastavenie parametrov čítača počtu rozbehov motora.

### 7.3 Podpät'ová ochrana

Funkčný blok tejto ochrannej funkcie v jazyku FUPLA a jeho popis zobrazuje Tab. 7-11.

Tab. 7-11 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku podpät'ovej ochrany [32].

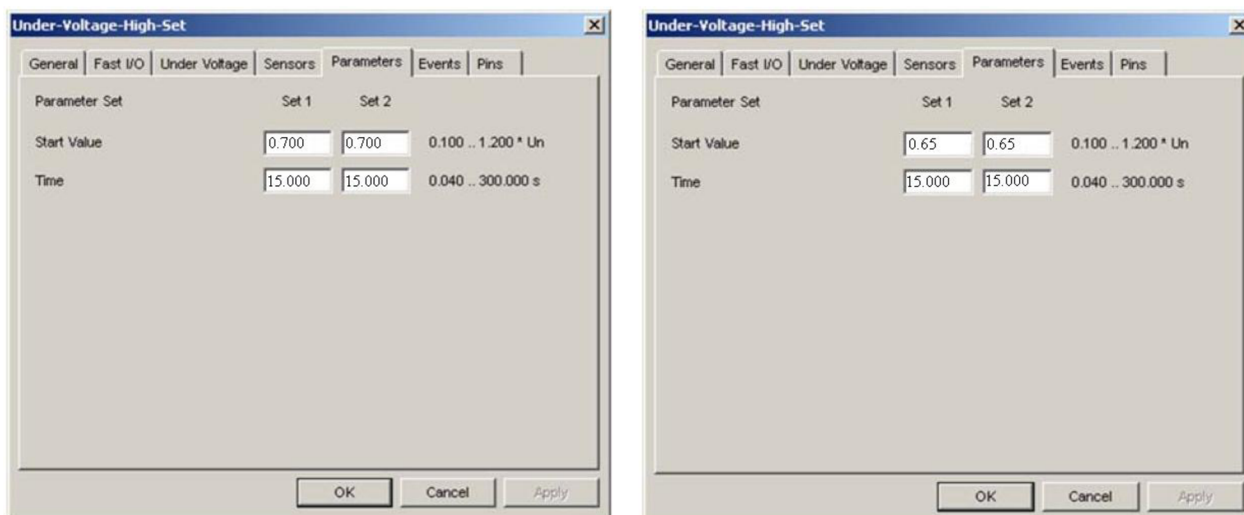
Undervoltage protection (27)		názov	popis	
	vstupy	BS	blocking signal	
	výstupy	S L1	start signal of UL1	fázová hodnota napätia poklesne pod prahovú hodnotu
		S L2	start signal of UL2	
		S L3	start signal of UL3	
		TRIP	trip signal	

Pri nastavení ochranných funkcií je ďalej potrebné zadefinovať parametre podľa Tab. 7-12.

Tab. 7-12 Parametre pre nastavenie podpät'ovej ochrany [32].

<b>Start Value</b>	prahová hodnota napätia
<b>Time</b>	časové oneskorenie vypnutia

Podľa [4] možno zvoliť pre transformátory hodnotu  $0,7 \cdot U_n$  ( $U_n = 22 \text{ kV}$ ), pre motory naprázdno  $0,65$  až  $0,7 \cdot U_n$  ( $U_n = 6 \text{ kV}$ ), kde  $U_n$  je menovitá hodnota napätia (*Rated Primary Value RPV*) prístrojového transformátora napätia alebo senzoru. Hodnota časového oneskorenia pri podpät'ovej ochrane motora *Time* by mala byť zvolená z doby rozbehu asynchrónneho motora pri prípustnom poklese svorkového napätia. Keďže sa prípustný pokles napätí pre zariadenia v katalógových listoch [3], [22] neuvádza, bude zvolená hodnota *Time* = 15 s. Celkové nastavenie parametrov pre podpät'ovú ochranu zobrazuje Obr. 7-7.

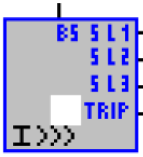


Obr. 7-7 Nastavenie parametrov podpät'ovej ochrany.

## 7.4 Nadprúdová ochrana

Funkčný blok ochrannej funkcie – nadprúdová okamžiková ochrana v jazyku FUPLA a jeho popis zobrazuje Tab. 7-13.

Tab. 7-13 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku nadprúdovej okamžikovej ochrany [32].

Instantaneous overcurrent protection (50)		názov	popis
	vstupy	BS	blocking signal
	výstupy	S L1	start signal $I_{L1}$
		S L2	start signal $I_{L2}$
		S L3	start signal $I_{L3}$
		TRIP	trip signal (aktivovaný po uplynutí času <i>Time</i> )

Pri nastavení ochranných funkcií je ďalej potrebné zadať parametre podľa Tab. 7-14.

Tab. 7-14 Parametre pre nastavenie nadprúdovej okamžikovej ochrany [32].

<i>Start Value</i>	prahová hodnota prúdu pri vzniku nadprúdu
<i>Time</i>	časové oneskorenie vypnutia ochranou

### 7.4.1 Skratová ochrana vývodového poľa motora

Nastavenie skratovej ochrany tohto poľa vychádza z teoretického predpokladu uvedeného v kapitole 6.1. Menovitý prúd transformátora 22/6 kV na primárnej strane je  $I_{rTHV} = 15,15$  A zo vzťahu (7.1). Keďže skratová ochrana je umiestená na primárnej strane tohto transformátora, maximálny prevádzkový prúd  $I$  prepočítaný na primárnu stranu je

$$I \cdot \frac{U_{rTLV}}{U_{rTHV}} = I_{LR} \cdot \frac{U_{rTLV}}{U_{rTHV}} = 5,8 \cdot I_{rM} \cdot \frac{U_{rTLV}}{U_{rTHV}} = 5,8 \cdot 30 \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{22 \cdot 10^3} = 47,455 \text{ A} \quad (7.41)$$

kde  $I_{LR}$  je záberný prúd asynchrónneho motora,  $U_{rTLV}$  menovité napätie na sekundárnej strane,  $U_{rTHV}$  menovité napätie na primárnej strane transformátora 22/6 kV.

Porovnaním týchto dvoch hodnôt možno zistiť, že maximálny prevádzkový prúd  $I$  presahuje menovitý prúd transformátora na primárnej strane  $I_{rTHV}$ . Preto rozbehový prúd ochrany  $I_{2r}$  z kapitoly 6.1 je zvolený z podmienok

$$I_{2r} \geq 1,3 \cdot I \geq 1,3 \cdot 47,455 \geq 61,692 \text{ A} \quad (7.42)$$

$$1,25 \cdot I_{2r} \leq I_{k1p} \leq I''_{kmin(L1-L2)} \cdot \frac{U_{rTLV}}{U_{rTHV}} \leq 1,302 \cdot 10^3 \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{22 \cdot 10^3} \leq 355,091 \text{ A} \quad (7.43)$$

$$I_{2r} \leq \frac{355,091 \text{ A}}{1,25} \leq 284,073 \text{ A}$$

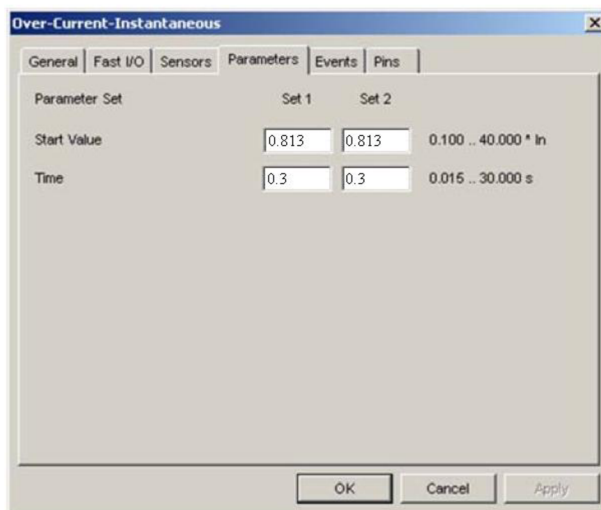
kde  $I_{k1p}$  je hodnota primárneho prúdu pri dvojfázovom skrate na nn strane transformátora,  $I''_{kmin(L1-L2)}$  hodnota dvojfázového skratového prúdu na nn svorkách transformátora 22/6 kV (miesto skratu *F5* z Tab. 5-10 respektíve z Obr. 5-3).

Podmienkam (7.42) a (7.43) vyhoví s rezervou rozbehový prúd ochrany  $I_{2r} = 65$  A a časom pôsobenia  $t = 0,3$  s. Parametre pre nastavenie tejto ochrannej funkcie sú teda

$$Start\ Value = \frac{I_{2r}}{I_n} = \frac{65}{80} = 0,813 \quad (7.44)$$

$$Time = 0,3\ s \quad (7.45)$$

Nastavenie parametrov pre skratovú ochranu vývodového poľa motora zobrazuje Obr. 7-8.



Obr. 7-8 Nastavenie parametrov skratovej ochrany vývodového poľa motora.

### 7.4.2 Skratová ochrana vývodového poľa transformátora

Skratová ochrana transformátora 22/0,42 kV pôsobí pri skratoch na sekundárnej strane, zálohuje ochrany na sekundárnej strane transformátoru (rozvod 0,42 kV chránený napríklad ističmi). Rozbehový prúd ochrany  $I_{2r}$  musí byť menší ako hodnota minimálneho skratového prúdu na svorkách sekundárnej strany transformátora 22/0,42 kV prepočítaná na primárnu stranu. Vychádza sa zo vzťahu (3.11)

$$I_{2r} \leq \frac{I''_{kmin(L1-L2)} \cdot \frac{U_{rTLV}}{U_{rTHV}}}{k_c} \leq \frac{23,950 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,42 \cdot 10^3}{22 \cdot 10^3}}{1,2} \leq 381,023\ A \quad (7.46)$$

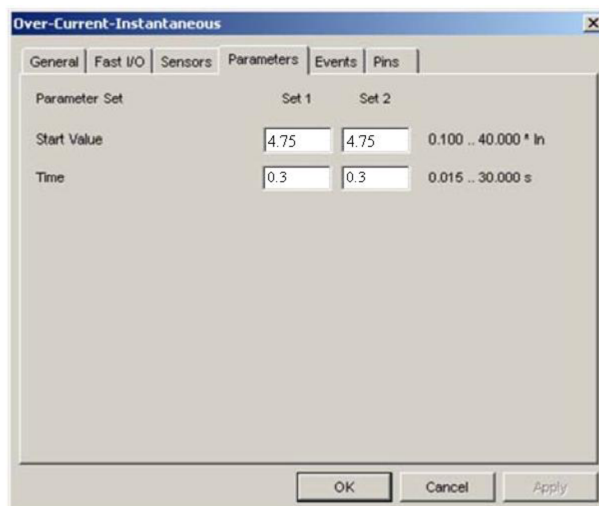
kde  $I''_{kmin(L1-L2)}$  hodnota dvojfázového skratového prúdu na nn svorkách transformátora 22/0,42 kV (miesto skratu F4 z Tab. 5-10 respektíve z Obr. 5-3),  $U_{rTLV}$  menovité napätie na sekundárnej strane,  $U_{rTHV}$  menovité napätie na primárnej strane,  $k_c$  koeficient citlivosti.

Podmienke (7.46) vyhovie rozbehový prúd ochrany  $I_{2r} = 380\ A$  a časom pôsobenia  $t = 0,3\ s$ . Parametre pre nastavenie tejto ochrannej funkcie sú

$$Start\ Value = \frac{I_{2r}}{I_n} = \frac{380}{80} = 4,75 \quad (7.47)$$

$$Time = 0,3\ s \quad (7.48)$$

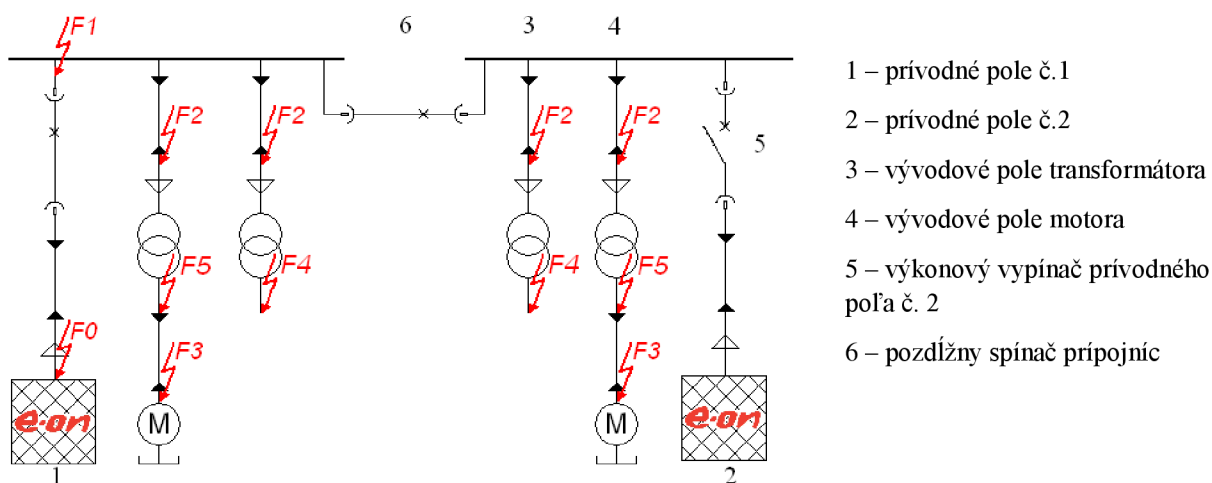
Výsledné parametre pre nastavenie skratovej ochrany vývodového poľa transformátora zobrazuje Obr. 7-9.



Obr. 7-9 Nastavenie parametrov skratovej ochrany vývodového poľa transformátora.

### 7.4.3 Skratová ochrana v poli pozdĺžneho spínača prípojnic – spojky

Skratová ochrana v tomto poli podľa Obr. 7-10 zálohuje skratové ochrany vývodových polí transformátora **3** a motora **4** pri napájaní rozvodne z prívodného poľa **1**. Súčasne je však rozopnutý výkonový vypínač **5**.



Obr. 7-10 Skratová ochrana v poli pozdĺžneho spínača prípojnic.

Rozbehový prúd ochrany pre zálohovanie spomínaných vývodových polí **3** a **4**, musí byť nastavený na hodnotu nižšieho rozbehového prúdu z oboch vývodových polí (teda na hodnotu z poľa **3**). Preto

$$\text{Start Value} = 0,813 \quad (7.49)$$

a pre dosiahnutie selektívneho a spoľahlivého pôsobenia tejto ochrany s využitím časového koordinačného intervalu 0,2 s je vypínací čas v poli spojky

$$\text{Time} = 0,3 \text{ s} + 0,2 \text{ s} = 0,5 \text{ s} \quad (7.50)$$



### 7.4.4 Skratová ochrana v prívodnom poli

Skratová ochrana v tomto poli podľa Obr. 7-10 zálohuje skratové ochrany vývodových polí transformátora 3 a motora 4 (pri napájaní rozvodne z prívodného poľa 1), a skratovú ochranu umiestenú v poli spojky. Takže hodnoty pre nastavenie tejto ochrannej funkcie s časovým koordinačným intervalom 0,2 s sú

$$\text{Start Value} = 0,813 \quad (7.51)$$

$$\text{Time} = 0,3 \text{ s} + 0,2 \text{ s} + 0,2 \text{ s} = 0,7 \text{ s} \quad (7.52)$$

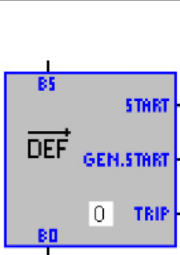
Čas vypnutia skratovej ochrany v prívodnom poli musí byť v koordinácii s nadradenou stanicou, prípadne musí byť schválený distribútorom elektrickej energie (uvedené v kapitole 4.2.1).

## 7.5 Zemné ochranné funkcie

### 7.5.1 Zemná smerová ochrana

Funkčný blok zemnej smerovej ochrany v jazyku FUPLA a jeho popis zobrazuje Tab. 7-15.

Tab. 7-15 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku zemnej smerovej ochrany [32].

Earth fault protection, (67N)		názov	popis
	vstupy	BS	blocking signal
	výstupy	START	start signal (aktivovaný vtedy, keď je porucha v nastavenom smere - forward, backward)
		BO	block output signal (aktivovaný, keď ochranná funkcia zmeria prahovú hodnotu $I_{(0)}$ ale netočivá zložka prúdu (porucha) sa nenachádza v oblasti pôsobenia)
		TRIP	trip signal (aktivovaný po uplynutí času Def. operate time)
		GEN.START	general start signal

Pri nastavení ochranných funkcií je ďalej potrebné zadefinovať parametre podľa Tab. 7-16.

Tab. 7-16 Parametre pre nastavenie zemnej smerovej ochrany [32].

<b>Parameter Set</b>	isolated (sin $\phi$ ), earthed (cos $\phi$ ); forward, backward
<b>Start Value</b>	prahová hodnota netočivej zložky prúdu
<b>Def. operate time</b>	časové oneskorenie vypnutia ochranou
<b>Voltage U<sub>0</sub></b>	prahová hodnota netočivej zložky napätia

Presné nastavenie tejto ochrannej funkcie neudáva žiadna literatúra, ale vychádza sa z praktických meraní v sieti, do ktorej je rozvodňa pripájaná (závislé na nesymetrii siete). Literatúra [4] počíta s činnou zložkou kapacitného prúdu približne 5 % celkového prúdu, ktorý tečie zhášacou tlmivkou. Pre zvyšovanie činnnej zložky prúdu zemného spojenia (a tým jednoduchšie zistenie vývodu so zemnou poruchou) sa do pomocného výkonového vinutia zhášacej tlmivky s prevodom 13,3 kV/500 V pripája cez stýkače odporník s hodnotou 1  $\Omega$  na čas 1 s [36]. Pri kovovej poruche a pripnutí odporníku ním bude tečť prúd 500 V/1  $\Omega$  = 500 A. Po prepočítaní na primárnu stranu pomocného výkonového vinutia je to hodnota prúdu

$$500 \text{ A} \cdot \frac{500 \text{ V}}{13,3 \text{ kV}} = 18,8 \text{ A} \quad (7.53)$$

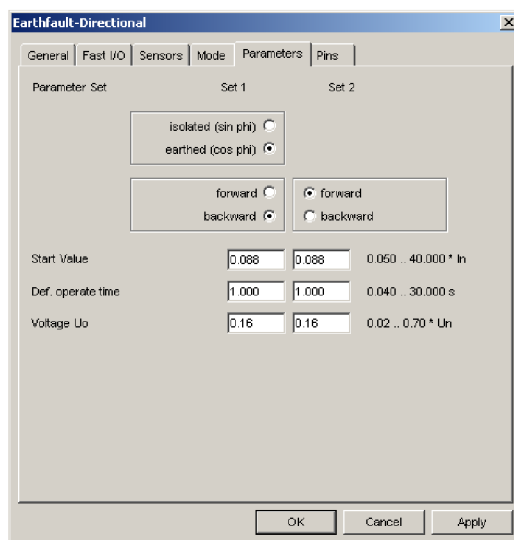
Prúd 18,8 A predstavuje hodnotu činného prúdu pri kovovej poruche. Väčšina zemných porúch však nie je kovových, preto nastavená prahová hodnota netočivej zložky prúdu musí byť menšia než 18,8 A. Z praktických skúseností a meraní v sieti vysokého napätia 22 kV [36] pre zachovanie citlivosti smerovej zemnej ochrany pri odporovej poruche 3 k $\Omega$  postačí nastavenie prahovej hodnoty netočivej zložky prúdu na 7 A (čo predstavuje približne 9,7 % celkového kapacitného prúdu siete 72 A).

Netočivá zložka napätia  $3.U_{(0)}$  je meraná z otvoreného trojuholníka vinutí meracích transformátorov napätia z kapitoly 3.2.1. Pri kovovom zemnom spojení je maximálna hodnota  $3.U_{(0)} = 100 \text{ V}$  (súčet sekundárnych hodnôt fázových napätí PTN v otvorenom trojuholníku  $3 \times 100/3 \text{ V}$ ), pri prepočte na stranu vn je to 100 % fázového napätia ( $22/\sqrt{3} \text{ kV}$ ). Z praktického merania v sieti [36] možno zvoliť za prahovú fázovú hodnotu napätia 2 kV. Táto po opätovnom prepočte na otvorený trojuholník predstavuje 15,75 V (z maximálneho možného 100 V). Uvedené hodnoty predstavujú prahové hodnoty nastavení ochrannej funkcie

$$\text{Current } I_o = \frac{I_{(0)}}{I_n} = \frac{7}{80} = 0,088 \quad (7.54)$$

$$\text{Voltage } U_o = \frac{U_{(0)}}{U_n} = \frac{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 10^3}{22 \cdot 10^3} = 0,157 \quad (7.55)$$

kde  $I_n = 80 \text{ A}$  (senzor – *Earth Calculated*) a  $U_n = 22 \text{ kV}$  (prístrojový transformátor napätia – *Residual Sensor*) sú menovité primárne hodnoty (v [32] označované ako *Rated Primary Value RPV*), ktoré sa zadávajú pri nastavovaní analógových vstupov. Ďalšie parametre tejto ochrany sú *Def. operate time* = 1 s (tento čas musí byť prispôsobený automatike pripínania odporníku k Petersenovej tlmivke), *Parameter Set* = *earthed* (vyplýva z kapitoly 3.2.1). Nastavenie zemnej smerovej ochrany v jednotlivých poliach rozvodne zobrazuje Obr. 7-11.




Obr. 7-11 Nastavenie parametrov zemnej smerovej ochrany.

### 7.5.2 Zemná ochrana motora

Funkčný blok tejto ochrannej funkcie v jazyku FUPLA a jeho popis zobrazuje Tab. 7-17. Pri nastavovaní ochrannej funkcie v položke *Sensors* možno zvoliť pre meranie prúdu *Current Measure* buď *Earth Sensor* (použitie sčítavacieho transformátora podľa Obr. 3-7 c)) alebo *Earth Calculated* (podľa zapojenia Obr. 3-7 a)).

Tab. 7-17 Binárne vstupy a výstupy funkčného bloku zemnej ochrany motora [32].

<i>Overcurrent protection with inverse time (51N)</i>	názov	popis	
	vstupy	BS blocking signal	
	výstupy	START	start signal (aktivovaný keď meraná/vypočítaná hodnota $I_0$ prekročí nastavenú prahovú hodnotu <i>Start Value</i> )
		TRIP	trip signal (aktivovaný po uplynutí času <i>Time</i> )

Pri nastavení ochranných funkcií je ďalej potrebné zdefinovať parametre podľa Tab. 7-18.

Tab. 7-18 Parametre pre nastavenie zemnej ochrany motora [32].

<b>Start Value</b>	prahová hodnota prúdu pri vzniku zemnej poruchy
<b>Time</b>	časové oneskorenie vypnutia ochranou

Typické nastavenie zemnej ochrany motora bez použitia súčtového transformátora prúdu (*CBCT Core Balance Current Transformer*) je podľa [5] **30 % menovitej hodnoty prúdu motora  $I_{FM}$** , vzťahnuté k menovitému prúdu  $I_n$  senzoru

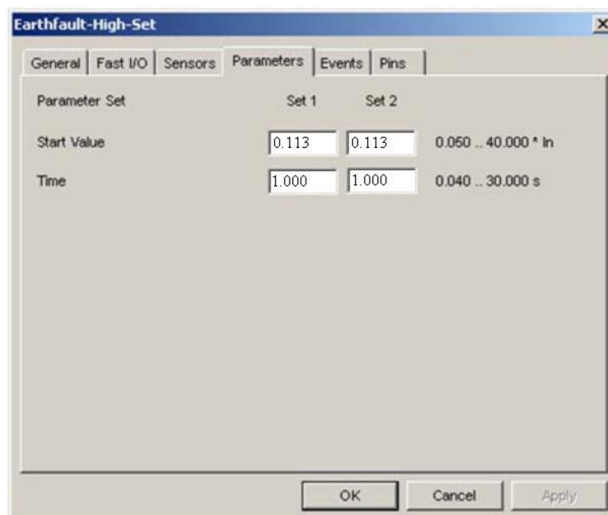
$$Start\ Value = \frac{0,30 \cdot I_{FM}}{I_n} = \frac{0,30 \cdot 30}{80} = 0,113 \quad (7.56)$$

$$Time = 1\ s \quad (7.57)$$

Správne časové oneskorenie *Time* musí byť určené odskúšaním pri uvádzaní do prevádzky [5].

Zemná ochrana musí pôsobiť pri zemných poruchách na statorovom vinutí motora, pričom závisí na spôsobe uzemnenia uzla napájacieho systému. Literatúra [6] odporúča pre nastavenie zemnej ochrany poľa motora v izolovanom systéme prahovú hodnotu **0,5 násobku kapacitného zemného prúdu** (bezpečnostný dôvod, pri odpojení časti napájacieho systému). Túto hodnotu možno zistiť od distribútora elektrickej energie danej siete. Do miesta zemného spojenia však prispieva okrem siete aj príspevok zemného prúdu od poľa motora. Keďže je motor spojený so sieťou pomocou káblového vedenia, tento prúd možno určiť z katalógového listu káblu (súčinn kapacitného prúdu káblu na kilometer dĺžky a dĺžky použitého káblu).

Parametre pre nastavenie zemnej ochrany motora zobrazuje Obr. 7-12.



Obr. 7-12 Nastavenie parametrov zemnej ochrany motora.

## 8 OTESTOVANIE ROZVODNE

Funkčná spôsobilosť prvkov rozvodného zariadenia a dodržanie povolených medzí pri ich pôsobení na okolie sa preukazuje skúškami kusovými a typovými. V systéme chránenia sú to napríklad skúšky prístrojových transformátorov napätia, prúdu, senzorov, ochrán, napríklad pre ochranné terminály sú to [5]

- typové skúšky – musia preukázať, že ochrana spĺňa technickú špecifikáciu (danú výrobcom) a normy (napríklad IEC 60255, ANSI C37.90),
- štandardné testy pri výrobe – testovanie prebieha počas výrobného procesu,
- testy pri uvádzaní do prevádzky,
- pravidelne sa opakujúce testy,

a napríklad skúšky funkcie rozvádzača [9]

- typové skúšky – mechanické funkcie, skúšky elektrickej pevnosti izolácie,
- kusové skúšky – vizuálna kontrola, meranie odporu hlavných obvodov.

Po skompletovaní rozvádzačov polí rozvodne nastáva prostredníctvom obslužného programu počítača, ktorý je spojený s ochranným terminálom, nahrávanie konfigurácií do jednotlivých polí rozvodne. Po nahraní konfigurácií je nutné overiť základné funkcie rozvádzača (potrebné kontrolovať aj na jednotke displeja terminálu) a to:

- zapnutie/vypnutie výkonového vypínača (manuálne, vypnutie od ochranných funkcií, ovládanie pomocou komunikácie),
- manipulácia s vozíkom vypínača (do polohy vysunutia *test*, zasunutia *service*),
- zaskratovanie/odskratovanie uzemňovača,
- kontrola logiky blokovania výkonového vypínača, vozíka vypínača, skratovača,
- kontrola binárnych vstupov a výstupov v súlade s projektovou dokumentáciou,
- kontrola logiky konfigurácie, jednopólovej funkčnej schémy na displeji ochrany (MIMIC),

ďalej je potrebná kontrola nastavených

- prevodov prístrojových transformátorov alebo senzorov v ochrane,
- vypočítaných (prípadne zadaných) parametrov ochranných funkcií.

Nasleduje

- sekundárne testovanie ochranných funkcií terminálu (sekundárne skúšky) – sú to opakované skúšky vykonávané na zariadení ochrany v stanovených lehotách, ktoré musia preukázať funkčnosť ochrán [11],
- testovanie komunikácie ochrán (horizontálna, vertikálna).

Postup pri testovaní sekundárnych skúšok ochrán je určený týmito bodmi:

### - použitie prístrojových transformátorov prúdu/napätia:

- pred testovaním rozvodne je potrebné z výkresovej dokumentácie káblového rozvodu pol'a zistiť zapojenie prístrojových transformátorov prúdu a prístrojových transformátorov napätia na analógové vstupy ochrany,
- do svoriek prúdových/napät'ových vstupov ochrany podľa dokumentácie pripojiť regulovateľný prúdový/napät'ový zdroj - testovací systém ochrán (simulácia reálneho stavu na sekundárnom vinutí PTP/PTN v prípade zaťaženia rozvádzača),
- veľmi dôležité je rozpojiť prepojovacie svorky od prúdových a napät'ových transformátorov na svorkovnici, nakoľko by sa pri testovaní ochranných funkcií mohlo pomocou nich na prípojnicach vn naindukovať nebezpečné vysoké napätie,
- na testovacom systéme nastavovať hodnoty prúdov, napätí, fázových uhlov (podľa konkrétnej ochrannej funkcie pre overenie jej správnej funkcie). Napríklad postupné zvyšovanie prúdu/napätia až do pôsobenia ochrany (nastavená a zameraná

hodnota sa zapíše do príslušného protokolu o nastavení ochrany<sup>7</sup>), ak je potrebné pri ochranných funkciách, zapísať aj vypínacie časy pôsobenia ochrany,

- po otestovaní odpojiť meracie zariadenie a opäť podľa výkresovej dokumentácie elektrického káblového rozvodu rozvádzača vrátiť svorky od prúdových a napäťových transformátorov do pôvodnej polohy.

**- použitie senzorov:**

- pred testovaním rozvodne je potrebné z výkresovej dokumentácie podľa zistiť zapojenie senzorov prúdu/napätia na senzorové vstupy ochrany,
- do týchto vstupov pripojiť regulovateľný prúdový/napäťový zdroj - testovací systém ochrán (simulácia reálneho stavu v prípade zaťaženia rozvádzača). Testovací systém sa pripojí priamo na senzorové analógové vstupy ochrany pomocou príslušného káblového prepojenia,
- na testovacom systéme nastavovať hodnoty prúdov, napätí, fázových uhlov (podľa konkrétnej ochrannej funkcie pre overenie jej správnej funkcie). Zmeraná hodnota pri pôsobení ochrany sa zapíše do príslušného protokolu o nastavení ochrany, ak je potrebné pri ochranných funkciách, zapísať aj vypínacie časy pôsobenia,
- po otestovaní odpojiť meracie zariadenie a podľa výkresovej dokumentácie elektrického káblového rozvodu rozvádzača pripojiť konektory od prúdových a napäťových senzorov naspäť do ochrany.

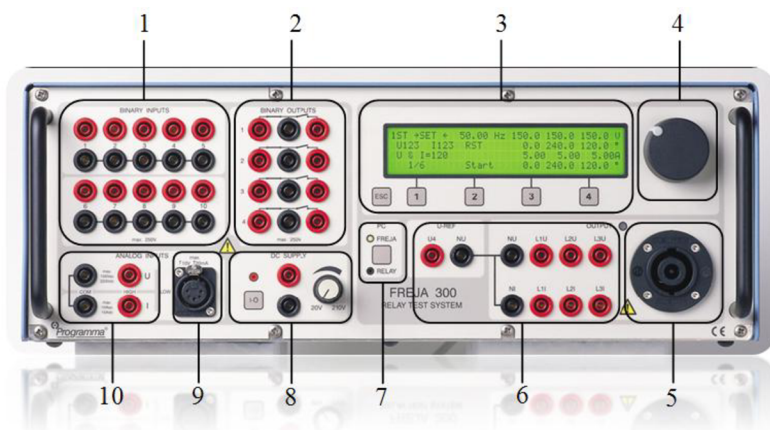
## 8.1 Testovací systém ochrán FREJA 300

Testovacie systémy boli vyvinuté na to, aby bolo možné vyhovieť požiadavkám na jednotlivé skúšky a zaviesť tak určitý štandard pre skúšanie ochrán, elektromerov a meracích prevodníkov v energetických systémoch. Sú používané predovšetkým ako skúšobné prístroje pre testovanie sekundárnej techniky v energetike u mestských rozvodných závodov, v priemysle ale aj u výrobcov ochrán, pri uvádzaní zariadenia rozvodne do prevádzky a podobne.

Testovací systém (ochranných funkcií) je v podstate regulovaný zdroj napätia a prúdu. Významným výrobcom týchto testovacích zariadení je Megger so zariadením rady FREJA prípadne OMICRON s radou testerov CMC. Sú určené k testovaniu väčšiny ochranných funkcií terminálov v poliach rozvodne. Obsahujú kalibrované prúdové a napäťové zdroje so širokým rozsahom nastavenia, zdroj jednosmerného napätia, binárne vstupy a výstupy, analógové vstupy pre meranie prúdu a napätia (*Obr. 8-1*). Systém FREJA 300/306 umožňuje ovládanie v dvoch základných módoch (čelný panel alebo programom FREJA Win [42] cez počítač).

---

<sup>7</sup> písomný záznam o nastavení zariadenia ochrany na predpísanom formulári



1 – binárne vstupy, 2 – binárne výstupy (vypínací a spínací kontakt), 3 – displej a tlačidlá používané v režime „Local“, 4 – otočný volič, 5 – multikonktor pre napätia (L1U, L2U, L3U, NU) a prúdy (L1I, L2I, L3I, NI), 6 – prúdové a napätové výstupy, 7 – prepínač (počítač a FREJA alebo ochrana), 8 – jednosmerný zdroj, 9 – analógové vstupy pre meracie snímače, 10 – analógové vstupy pre voltmeter a ampérmeter

Obr. 8-1 Popis panelu testeru FREJA 300 [7].

## 8.2 Skúšky ochrán pred uvedením rozvodne do trvalej prevádzky

Skúšky pred uvedením do prevádzky sú určené predovšetkým k zisteniu chýb montáže a nežiaducich zmien rozvodného zariadenia spôsobených napríklad dopravou, skladovaním. Vykonávajú sa na kompletne zmontovanom elektrickom zariadení s čo možno najmenšími zásahmi pre pripojenie skúšobných zariadení. Vo všeobecnosti ide o skúšky [38]

- správnej funkcie všetkých súčastí,
- riadiacich a pomocných obvodov,
- vplyvu zariadenia na okolie (v prípade nebezpečia prekročenia povolených medzí),
- ďalšie predpísané alebo dohodnuté skúšky.

Pri uvádzaní rozvodne a jej ochrán do prevádzky sa musia vykonať skúšky preberacie. Po ukončení montáže elektrického zariadenia a umiestení ochrán sa týmito skúškami za účasti dodávateľa musí preukázať, že sústava ochrán a príslušenstva odpovedá danému projektu a požiadavkám, ktoré sú na tento projekt kladené. Podniková norma [29] odporúča vykonávať skúšky sekundárne a skúšky primárne. Po vykonaní sekundárnych skúšok je možné pri prevádzkovej záťaži overiť hodnoty prúdov a napätí, smerovaní ochrán, u rozdielových ochrán rozdielový a stabilizačný prúd a podobne. Skúšky digitálnych ochrán v rozvodniach vysokého napätia sa podľa [29] vykonávajú podľa odporúčenia výrobcu, spravidla jedenkrát za 3-5 rokov.

**Pri sekundárnych skúškach ochrán** je ochranná sústava skúšaná samostatne a to bez pripojenia na prístrojové transformátory (senzory). Sústava ochrán isteného zariadenia sa preskúša pri nastavených hodnotách rozbehových, meracích, časových a smerových členov ochrán. Ďalej je nutné výsledky skúšok a kontroly zapísať do protokolu.

**Pri primárnych skúškach ochrán** je sústava ochrán skúšaná v rámci prístrojových transformátorov (senzorov) a ďalšieho vybavenia. Tieto skúšky majú za úlohu overiť správnosť sekundárnych obvodov, činnosť výkonových vypínačov a správnosť zapojenia prístrojových transformátorov (senzorov). Podľa [29] sa primárne skúšky vykonávajú:

- prúdom jednofázového zdroja – napríklad pri skúšaní nadprúdových ochrán,
- prúdom trojfázového zdroja – pri skúškach rozdielových ochrán transformátorov či alternátorov.

Namerané rozbehové (prípadne návratové) hodnoty meracích a časových článkov ochrán, výsledky skúšok a kontrol prístrojových transformátorov (senzorov), izolácie a spojovacích ciest,

sa musia zapísať do príslušného protokolu. Po ukončení primárnych skúšok ochrán je nutné odstránenie dočasných prepojení, umelé skratovanie skúšaných obvodov a celkové obnovenie pôvodného zapojenia zariadenia.

Po ukončení montážnych prác na rozvodni je bezpečnosť technického zariadenia ako celku preverovaná odborne spôsobilou osobou v rámci odbornej prehliadky a odbornej skúšky elektrického zariadenia. Technická inšpekcia pred uvedením do prevádzky musí overiť, či zariadenie (rozvodňa, transformačná stanica) zodpovedá konštrukčnej dokumentácii a je spôsobilé na bezpečnú a spoľahlivú prevádzku [11], [28]. V prípade pripojenia elektrického zdroja k distribučnej sieti je ďalej potrebné dodať distribútorovi projektovú dokumentáciu [26] a to na útvár *Sieťové smlouvy*. Projektová dokumentácia musí obsahovať [26]:

- spôsob napojenia na distribučnú sieť E.ON Distribuce, a.s., v rámci prierezu (káblového) vedenia, hodnôt istenia a prípadného navrhovaného prevedenia obchodného merania,
- situačný a schématický výkres so zakreslením vyvedenia výkonu od zdrojového sústrojenstva po predávacie miesto,
- podrobný popis použitých ochrán – použité typy ochrán a ich nastavenie musia byť odsúhlasené stranou distribútora elektrickej energie.

ZSE Distribúcia, a.s. (člen skupiny E.ON) má vypracovanú testovaciu dokumentáciu – funkčné skúšky pre pripájanie malých energetických objektov s výrobou elektrickej energie do systému *RIS – Riadiaci a informačný systém*<sup>8</sup>, a pre súbor ochrán a automatík malých energetických objektov s výrobou elektrickej energie. Funkčné skúšky (takzvané testovacie scenáre) pre pripájanie energetických objektov s výrobou elektrickej energie [37] sú vykonávané po ukončení všetkých projekčných, montážnych a skúšobných prác, súvisiacich so zariadeniami pripájanej rozvodne. Skúšobné testy sú rozdelené do jednotlivých kapitol, ktoré zobrazuje *Tab. 8-1*.

*Tab. 8-1 Skúšobné testy pre vykonanie funkčných skúšok [37].*

druh testu rozvodne
testy kompletnosti a schválenia dokumentácie k pripájanému objektu
testy dodávky zariadenia a vykonania základných prác
testy komunikácií
testy signálov
testy stavov a ovládania spínacích prvkov
testy ochrán
testy merania elektrických hodnôt $U, I, P, Q$
komplexný chod

Pred začiatkom funkčných skúšok pripájania rozvodne do distribučnej siete musí byť k dispozícii protokol o nastavení a odskúšaní ochrán. V deň konania funkčnej skúšky rozvodne musia byť prítomní [37]:

- zodpovedný technik žiadateľa o vykonanie funkčnej skúšky objektu,
- pracovník ochrán a automatík,
- pracovníci poverení vykonávaním funkčných skúšok.

Testy ochrán podľa [37] pozostávajú z nasledovných testov

- meranie a signalizácia pôsobenia ochrán,
- pôsobenie ochrany pri strate vysokého napätia.

<sup>8</sup> tento systém pozostáva z riadiacej jednotky, modemu, stabilizovaného zdroja, ističov, záložného zdroja (akumulátorov) a svorkovnic [37]



### 8.3 Sekundárne skúšky ochrany REF 542plus

V závislosti od typu testovanej ochrannej funkcie terminálu boli použité 2 typy analógových kariet (750138/601 a 750138/602). Konektory X81, X82, X83 predstavujú analógové senzorové vstupy pre prúdy (*Current Rogowski*), konektory X84, X85, X86 analógové senzorové vstupy pre napätia (*Voltage Sensor*). Tieto vstupy sú senzorovým káblom prepojené so sekundárnym testerom FREJA 300, ktorý generuje napätia odpovedajúce elektronickým prístrojovým transformátorom (senzorom) v prevádzke rozvodne. Zo svorkovnice terminálu X21 je pre vypínací („tripovací“) signál z ochrany využitý binárny výstup BO1 (povel k vypnutiu výkonového vypínača). Binárny výstup terminálu BO1 je spojený s binárnym vstupom BI1 testeru FREJA 300. Konfigurácia terminálu prebieha pomocou programu *REF 542plus Configuration Tool V4F.08b* [41], nastavenie napätí (prúdov) programom *FREJA Win* [42]. Blokovú schému zapojenia meracieho pracoviska zobrazuje *Obr. 8-2*.



*Obr. 8-2* Zapojenie meracieho pracoviska pre sekundárne skúšky.

Terminál REF 542plus prijíma od kombinovaného senzoru KEVCD A s menovitým prevodom pre prúd (80 A/150 mV) a napätie (10 000:1) iba analógové hodnoty napätí (výstup z prúdového a napätového senzoru je napätie). Na testeri sa toto napätie (od senzorov) generuje nepriamo cez externý zosilňovač a to na základe toho, či senzor meria prúd alebo napätie. V prípade merania prúdu, na testovacom systéme FREJA sa nastavujú hodnoty prúdov (amplitúda, uhol, frekvencia), ak senzor meria napätie, nastavujú sa hodnoty napätí (amplitúda, uhol, frekvencia). Tieto hodnoty sa prepočítavajú podľa príkladu z *Tab. 8-2* (analógová karta pre pripojenie prístrojových transformátorov prúdu je vo väčšine prípadov realizovaná pomocou oddeľovacích transformátorov s prúdovým rozsahom 1 A. Podobne je to aj s analógovými vstupmi pre prístrojové transformátory napätia s prevodom napríklad  $22/\sqrt{3}$  kV /  $100/\sqrt{3}$  V).

*Tab. 8-2* Prevod veličín medzi zariadeniami FREJA, REF 542plus a KEVCD A.

FREJA	REF 542plus	KEVCD A
1 A	RPV ( $I_n$ ) napríklad 80 A	RSV 0,150 V
100 V	RPV ( $U_n$ ) napríklad 20 kV	RSV 2 V

Časy a popudové hodnoty pôsobenia ochrany (prúdy, napätia) boli odčítané z listu udalostí na HMI jednotke v *MENU* v sekcii *EVENTS*.

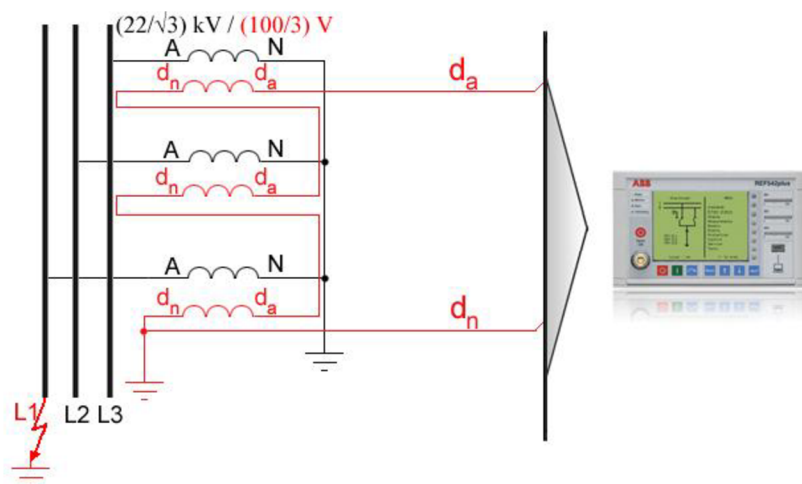
### 8.3.1 Zemná smerová ochrana

Pri testovaní bola použitá analógová karta so 6 senzorovými vstupmi (3xRC+3xVS) a analógovými vstupmi od súčtového transformátora prúdu (CT – nebol použitý) a otvoreného trojuholníka (VT) z prístrojových transformátorov napätia s meraním  $3.U_{(0)}$ <sup>9</sup>.

Netočivú zložku napätia  $3.U_{(0)}$  meria otvorený trojuholník na Obr. 8-3. Prístrojové transformátory napätia s prevodom  $p_u$   $22/\sqrt{3}$  kV(A-N) na  $100/3$  V ( $d_a$ - $d_n$ ) sú pripojené na fázy L1, L2, L3. Pri zemnom spojení vo fáze L1 je primárne vinutie prístrojového transformátora fázy L1 premostené skratom. Na sekundárnom vinutí tohto prístrojového transformátora bude napätie nulové (v ideálnom prípade). Na primárnych vinutiach prístrojových transformátorov napätia zapojených vo fázach L2 a L3, napätie vzrastie z fázovej hodnoty  $22/\sqrt{3}$  kV na hodnotu združenú, teda 22 kV. Fázory združených hodnôt sú

$$\bar{U}_{L2L1} = \bar{U}_{L2} - \bar{U}_{L1} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \angle 240^\circ - \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 22 \cdot 10^3 \angle 210^\circ \text{ V} \quad (8.1)$$

$$\bar{U}_{L3L1} = \bar{U}_{L3} - \bar{U}_{L1} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \angle 120^\circ - \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 22 \cdot 10^3 \angle 150^\circ \text{ V} \quad (8.2)$$



Obr. 8-3 Simulovanie maximálnej hodnoty netočivej zložky napätia  $3.U_{(0)}$  testerom.

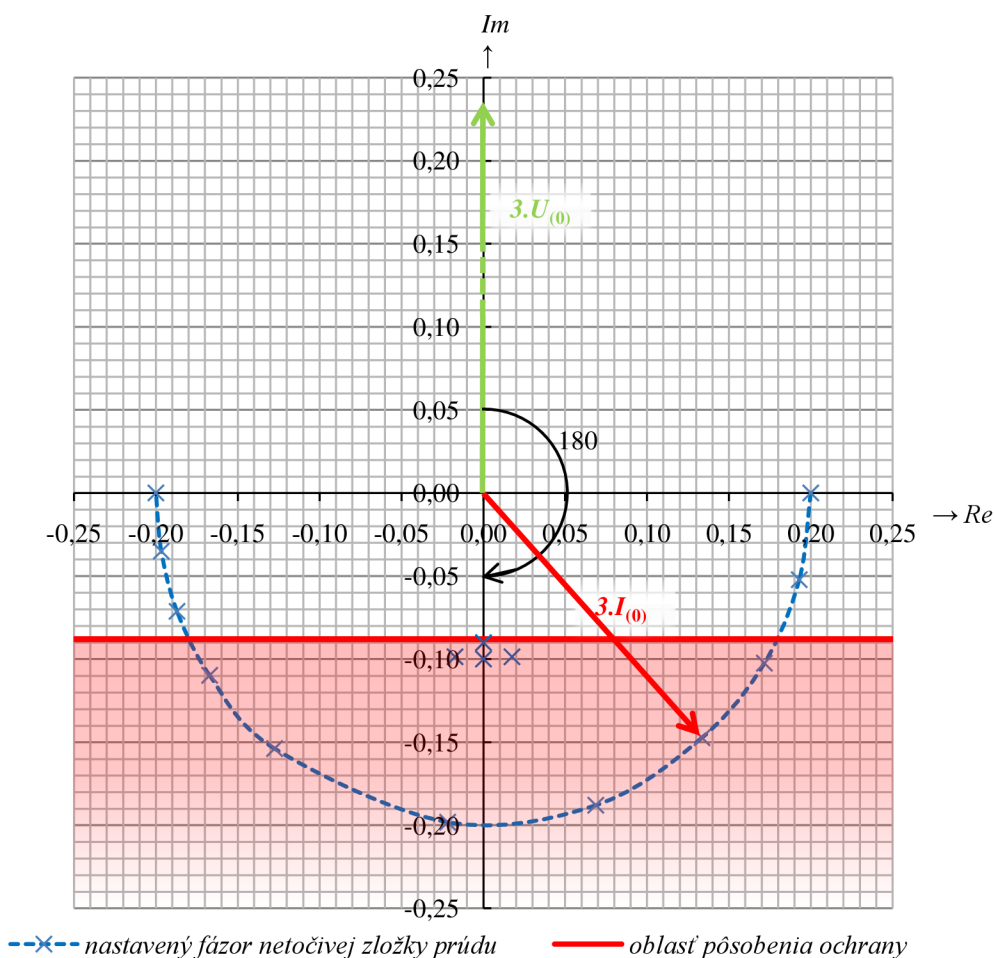
Na otvorenom trojuholníku možno zmerať napätie

$$\begin{aligned} 3\bar{U}_{(0)} &= 0 + \bar{U}_{L2L1} + \bar{U}_{L3L1} \cdot \frac{1}{p_u} = 0 + 22 \cdot 10^3 \angle 210^\circ + 22 \cdot 10^3 \angle 150^\circ \cdot \frac{100}{22 \cdot 10^3} = \\ &= 100 \angle 180^\circ \text{ V} \end{aligned} \quad (8.3)$$

<sup>9</sup> meracie kanály CH1..CH3 sú bežne určené pre vstupy od merania prúdu, CH4..CH6 pre vstupy od merania napätia, CH7 meranie netočivej zložky prúdu a CH8 meranie netočivej zložky napätia. Pri nastavovaní parametrov karty (REF 542plus Analog Inputs) je však možnosť vytvoriť vlastné poradie meracích kanálov (Channel-Type). To znamená, že napríklad pri testovaní rozdielovej ochrany je možnosť vytvoriť zo vstupov (3xRC+3xVS) vstupy (3xRC+3xRC) pre meranie 6 prúdov.

Pre nastavenie  $3.U_{(0)}$  bude použitá hodnota napätia v systéme FREJA 100  $\angle 90^\circ$  V (pootočenie o  $90^\circ$ ).

Netočivá zložka prúdu  $3.I_{(0)}$  je počítaná z fázových prúdov ( $I_{L1}, I_{L2}, I_{L3}$ ) meraných pomocou senzorov KEVCD A. Vypínaciu charakteristiku zemnej smerovej ochrany možno otestovať len nastavením jedného fázového prúdu ( $I_{L2}, I_{L3} = 0$  A), kedy prúd prvej fázy  $I_{L1}$  odpovedá priamo  $3.I_{(0)}$ . V skutočnosti pri testovaní boli nastavované všetky 3 fázové prúdy  $I_{L1}, I_{L2}, I_{L3}$ . Terminál pôsobil vtedy, keď boli súčasne splnené vypínacie podmienky: prahová hodnota netočivej zložky napätia prekročená, prahová hodnota netočivej zložky prúdu prekročená, uplynul nastavený čas a fázor netočivej zložky prúdu sa nachádzal v oblasti pôsobenia ochrany. Modul fázoru  $3.I_{(0)}$  na Obr. 8-4 nastavený na hodnotu  $0,200.In$  ( $0,200.80$  A = 16 A) pri prahovej hodnote  $0,088.In$  (7 A). Tabuľku nastavovaných a nameraných hodnôt dopĺňa Príloha P.

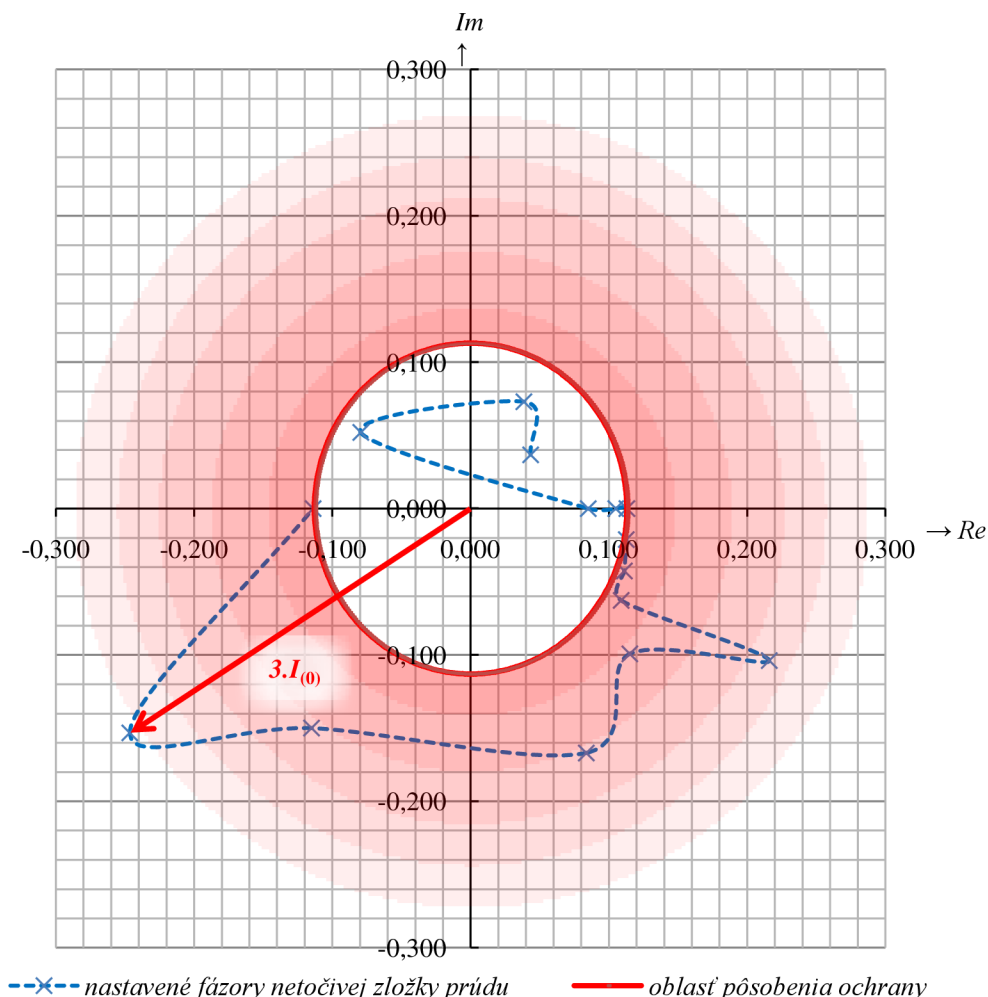


Obr. 8-4 Vypínacia charakteristika zemnej smerovej ochrany.

### 8.3.2 Zemná ochrana motora

Pri testovaní zemnej ochrany motora bola použitá analógová karta s 8 senzorovými vstupmi ( $3 \times RC + 3 \times VS + RC + VS$ ), pričom boli využité iba senzorové vstupy X81..X83 (meranie fázových prúdov  $I_{L1}, I_{L2}, I_{L3}$ ). Táto ochranná funkcia ochrany vysiela vypínací („tripovací“) signál len vtedy, keď je prekročená popudová hodnota  $3.I_{(0)}$  (teda nezávislá od netočivej zložky napätia). Popudová hodnota  $3.I_{(0)}$  bola nastavená na  $0,113.In$  ( $0,113.80$  A = 9 A, teda 30 % menovitej hodnoty prúdu motora  $I_{TM}$ ).

Netočivá zložka prúdu  $3.I_{(0)}$  je počítaná z fázových prúdov ( $I_{L1}$ ,  $I_{L2}$ ,  $I_{L3}$ ) meraných pomocou senzorov KEVCD A. Terminál pôsobil vtedy, keď boli splnené vypínacie podmienky: prahová hodnota netočivej zložky prúdu prekročená, uplynul nastavený čas. Modul fázoru  $3.I_{(0)}$  na Obr. 8-5 nastavovaný v rozmedzí  $<0,057.In; 0,290.In>$  ( $I_n = 80$  A) pri prahovej hodnote  $0,113.In$  (9 A). Fázami L2 a L3 tiekli menovité prúdy ( $0,375.In = 0,375.80 = 30$  A). Tabuľku nastavovaných a nameraných hodnôt dopĺňa Príloha P.



Obr. 8-5 Vypínacia charakteristika zemnej ochrany motora.

### 8.3.3 Rozdielová ochrana transformátora 22/6 kV

Pri testovaní rozdielovej ochrany transformátora v zapojení  $Yy0$  (*Vector Group 0*, *Grounding HV=No, LV=No*) ochranný terminál REF 542plus počíta diferencie prúdov (primárny prúd prepočítaný prevodom PTP/senzoru  $I_{1s}$  a sekundárny prúd prepočítaný prevodom PTP/senzoru  $I_{2s}$ ) po každej fáze zvlášť (Tab. 8-3). Avšak pri zapojení  $Dy1$  (*Vector Group 1*, *Grounding HV=No, LV=No*) musí byť pre testovanie rozdielovej ochrany použitých 6 prúdov (respektíve 6 napätí od senzorov), pretože terminál počíta prúd

- $I_{1s}$ : vektorový rozdiel dvoch meraných fázových prúdov na primárnej strane transformátora podelený  $\sqrt{3}$  (čím sa získa prúd fázový) prepočítaný prevodom PTP/senzoru,

- $I_{2s}$ : odpovedá meranému fázovému prúdu na sekundárnej strane transformátora (prepočítaný prevodom PTP/senzoru).

Tab. 8-3 Porovnanie výpočtu rozdielového prúdu  $I_d$  pre rôzne hodinové uhly transformátora [31].

hodinový uhol transformátora	uzemnená strana TR		porovnanie fázových prúdov pre výpočet $I_d$	
	HV (primárna)	LV (sekundárna)	$I_{1s}$ (HV)	$I_{2s}$ (LV)
0	-	-	$I_{L1}$	$I_{L1}$
			$I_{L2}$	$I_{L2}$
			$I_{L3}$	$I_{L3}$
1	-	-	$(I_{L1}-I_{L3})/\sqrt{3}$	$I_{L1}$
			$(I_{L2}-I_{L1})/\sqrt{3}$	$I_{L2}$
			$(I_{L3}-I_{L2})/\sqrt{3}$	$I_{L3}$

Táto ochranná funkcia bola otestovaná s použitím analógovej karty s 8 senzorovými vstupmi (3xRC+3xRC+RC+VS) - senzorové vstupy X81, X82, X83 (meranie fázových prúdov na primárnej strane transformátora), senzorové vstupy X84, X85, X86 (meranie fázových prúdov na sekundárnej strane transformátora). Na displeji (prípadne v programe FREJA Win) testovacieho systému FREJA možno nastavovať len 3 fázory prúdov a 3 fázory napätí. Keďže hodnota  $RSV$  pre prúdový senzor je 150 mV a hodnota  $RSV$  pre napäťový senzor je 2 V, bolo potrebné prepočítať napäťové výstupy na hladinu prúdového senzorového vstupu, teda na  $RSV$  150 mV (z Tab. 8-2). To znamená, že pri nastavení hodnôt  $RPV$  v ochrane (primárna a sekundárna strana transformátora) sú hodnoty  $RSV$  na jednej napäťovej hladine, teda 150 mV. Hľadaná hodnota nastavovaného napätia na systéme FREJA, ktorá odpovedá  $RSV$  150 mV je

$$\frac{100 \text{ V}}{2 \text{ V}} \cdot 0,150 \text{ V} = 7,5 \text{ V} \quad (8.4)$$

prícom 2 V (senzor napätia) odpovedajú 100 V (FREJA) z Tab. 8-2.

Fázory primárnych prúdov transformátora reprezentovali „prúdové senzorové výstupy“ (L1I, L2I, L3I), fázory sekundárnych prúdov transformátora „napäťové senzorové výstupy“ (L1U, L2U, L3U) zo systému FREJA. Fázový posuv medzi sekundárnym a primárnym prúdom tvoria dve zložky:

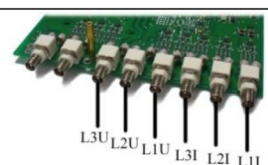
- fázor prúdu sekundárnej strany transformátora zaostáva za fázorom prúdu primárnej strany transformátora (z Tab. 8-3), nastavenie posuvu prúdu sekundárnej strany muselo byť prispôsobené o  $-30^\circ$  respektíve o  $330^\circ$ .
- výstupné napätie senzoru je úmerné derivácií prúdu podľa času, prispôsobenie  $-90^\circ$  respektíve  $270^\circ$ .

Výsledný posuv sekundárneho prúdu transformátora voči primárnemu prúdu transformátora s uhlom  $0^\circ$  je  $-30^\circ + (-90^\circ) = -120^\circ$  respektíve  $240^\circ$ . Príklad nastavenia pre menovité hodnoty prúdov transformátora zobrazuje Tab. 8-4 (rozdielová ochrana v tomto prípade nepôsobí – ide o normálny prevádzkový stav).

Tab. 8-4 Nastavené hodnoty prúdov a napätí pre testovanie rozdielovej ochrany transformátora – stav normálnej prevádzky transformátora.

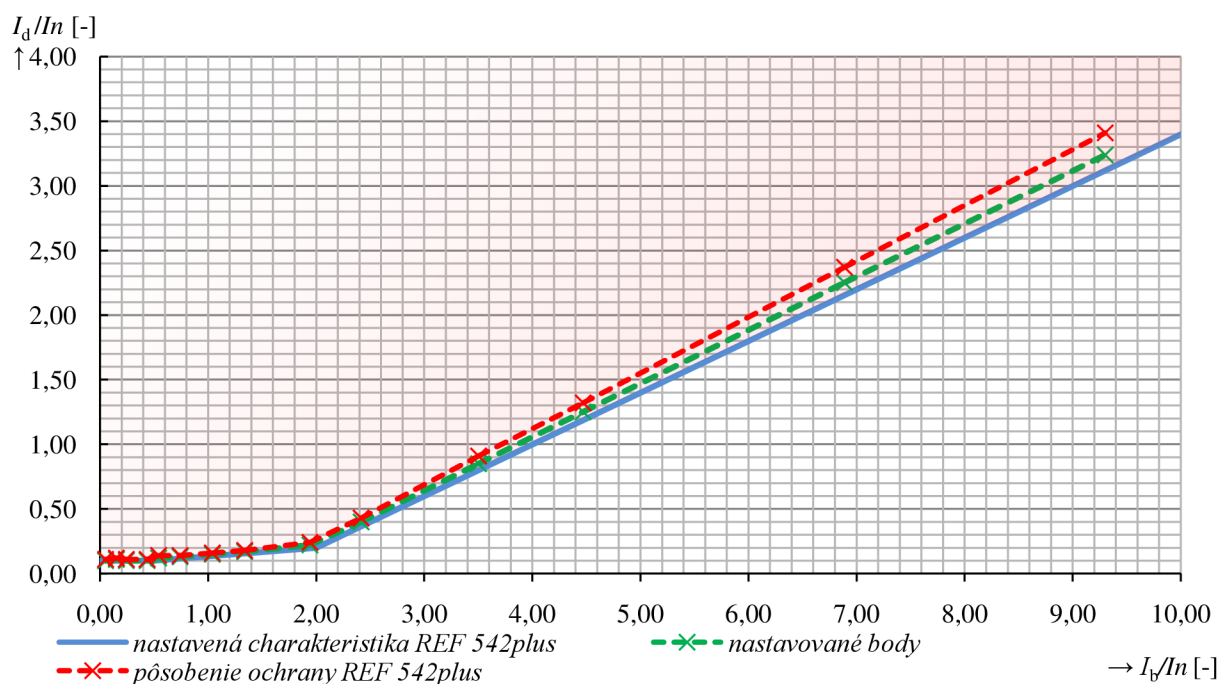
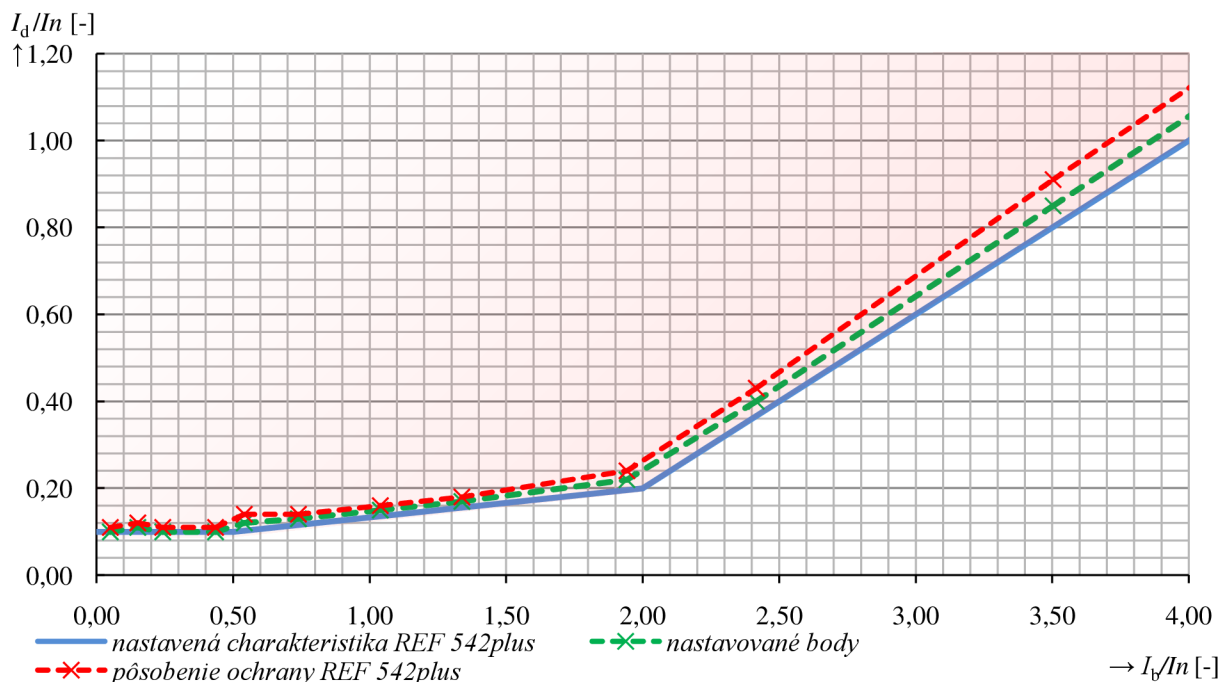
nastavené hodnoty na testovacom zariadení FREJA												poloha nastaveného bodu	
primárna strana $I_{1s}$						sekundárna strana $I_{2s}$						$I_d/I_n(RPV)$	$I_b/I_n(RPV)$
$ I_{L1} $ [A]	$[\varphi]$	$ I_{L2} $ [A]	$[\varphi]$	$ I_{L3} $ [A]	$[\varphi]$	$ U_{L1} $ [V]	$[\varphi]$	$ U_{L2} $ [V]	$[\varphi]$	$ U_{L3} $ [V]	$[\varphi]$	[-]	[-]
1,00	0,0	1,00	240,0	1,00	120,0	7,5	240,0	7,5	120,0	7,5	0,0	0,00	1,00
						prepočítané hodnoty napätí na prúdy (7,5 V $\rightarrow$ 0,150 V $\rightarrow$ RPV $\rightarrow$ 1 A)							
						$ I_{L1} $ [A]	$[\varphi]$	$ I_{L2} $ [A]	$[\varphi]$	$ I_{L3} $ [A]	$[\varphi]$		
						1,0	-30,0	1,0	210,0	1,0	90,0		

Nastavená vypínacia charakteristika rozdielovej ochrany na Obr. 8-6 bola určená jednoznačne 4 bodmi so súradnicami  $[0; I_{d0}]$ ,  $[I_{b0}; I_{d0}]$ ,  $[I_{b1}; I_{d1}]$ ,  $[34,825; I_{d1}]$ . Z nastavených prúdov (napätí) na meracom systéme FREJA ( $I_{1s}$ ,  $I_{2s}$ ) boli spočítané a vynesené *nastavované body* o súradniciach  $[I_b; I_d]$  v oblasti pôsobenia ochrany. Výsledok *pôsobenia ochrany* bol odčítaný z HMI jednotky v podobe rozdielového prúdu  $I_d$  Trip ako násobok  $I_n$  (nastavený v REF 542plus Analog Inputs ako hodnota RPV) a čas pôsobenia ochrany zo systému FREJA  $t_{FREJA}$ . Tabuľku nastavovaných a nameraných hodnôt s ďalším vysvetlením dopĺňa Príloha P.



L1I, L2I, L3I primárna strana transformátora

L1U, L2U, L3U sekundárna strana transformátora



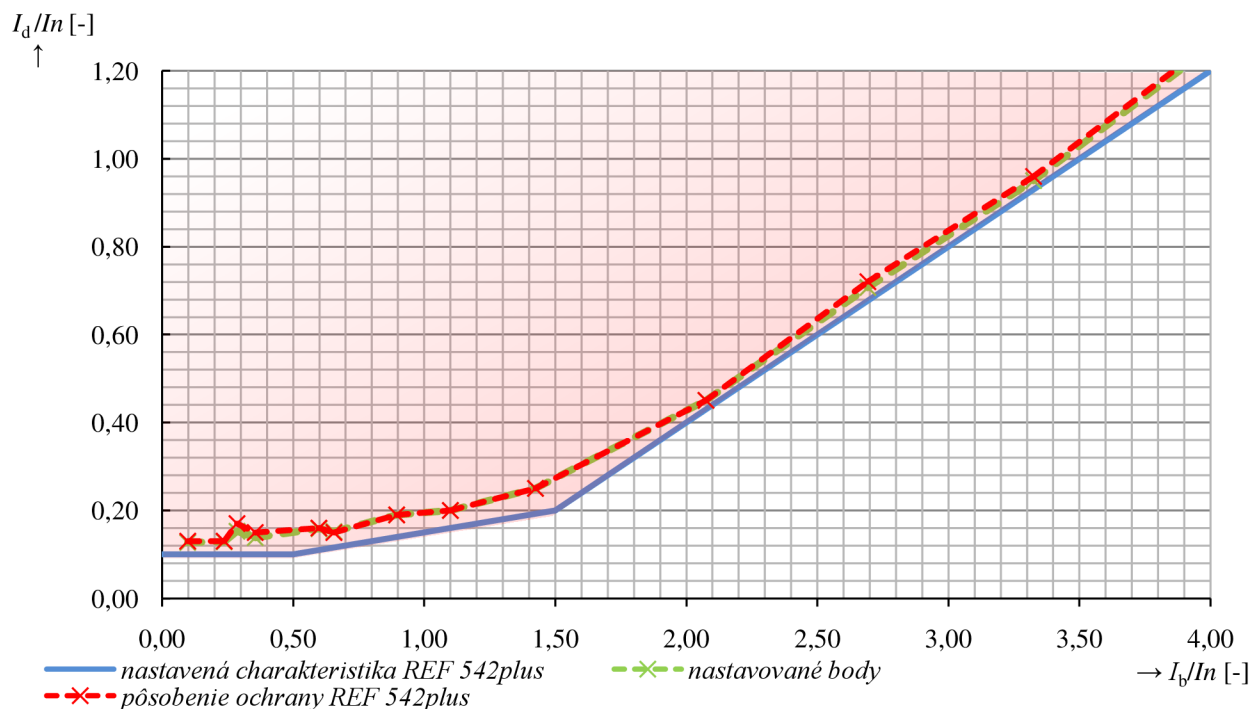
Obr. 8-6 Vypínacia charakteristika rozdielovej ochrany – transformátor.

### 8.3.4 Rozdielová ochrana motora

Testovanie tejto ochrannej funkcie prebiehalo podobne, ako bolo uvedené v popise v kapitole 8.3.3 pri testovaní rozdielovej ochrany transformátora. Menovitý prúd  $I_n$  (hodnota  $RPV$ ) zvolený na hodnotu menovitého prúdu motora (30 A) na primárnej i sekundárnej strane.

*Nastavená vypínacia charakteristika rozdielovej ochrany* na Obr. 8-7 bola určená jednoznačne 4 bodmi so súradnicami  $[0; I_{d0}]$ ,  $[I_{b0}; I_{d0}]$ ,  $[I_{b1}; I_{d1}]$ ,  $[13,5; I_{d>}]$ . Z nastavených prúdov na meracom systéme FREJA ( $I_{1s}$ ,  $I_{2s}$ ) boli spočítané a vynesené *nastavované body* o súradniciach  $[I_b; I_d]$  v oblasti pôsobenia ochrany. Výsledok *pôsobenia ochrany* bol odčítaný z HMI jednotky

v podobe rozdielového prúdu  $I_d$  Trip ako násobok  $I_n$ , čas pôsobenia ochrany zo systému FREJA  $t_{FREJA}$ . Tabuľku nastavovaných a nameraných hodnôt dopĺňa Príloha P.



Obr. 8-7 Vypínacia charakteristika rozdielovej ochrany – motor.

### 8.3.5 Tepelná ochrana motora

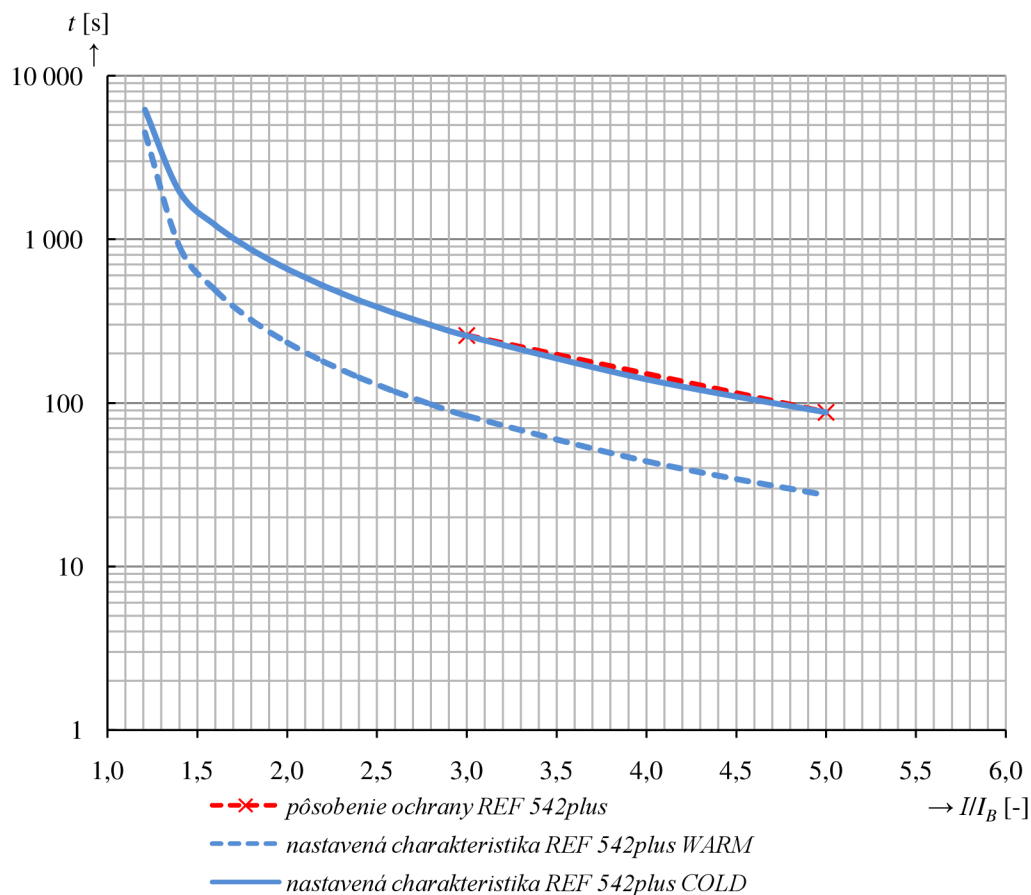
Vypínacia charakteristika tepelnej ochrany motora je v termináli REF 542plus reprezentovaná predovšetkým časovými konštantami  $TCNormal$  a  $TCOverheat$ , a v rozmedzí záťažných prúdov motora  $III_B$  približne  $\langle 1,2; 4,7 \rangle$  [33]. Čas do vypnutia ochranou  $t$  je závislý na zostávajúcej tepelnej kapacite motora. Namiesto časovej konštanty sa však niekedy využíva označenie  $t_{6x}$  [s]<sup>10</sup>, ktoré reprezentuje čas, pri ktorom dosiahne studený motor svoju maximálnu prevádzkovú teplotu pri prúde  $6 III_B$ . Otepľovacia časová konštanta motora  $\tau$  [min] je rovná 32násobku času  $t_{6x}$  [4].

*Nastavená vypínacia charakteristika* tepelnej ochrany pre takzvaný studený stav (bez predchádzajúceho zaťaženia motora) na Obr. 8-8 bola určená na základe časovej konštanty 1474 s. *Prerušovaná nastavená vypínacia charakteristika* predstavuje takzvaný teplý stav motora (motor bol zaťažovaný menovitým prúdom). Nakoľko premeranie celej vypínacej charakteristiky tepelnej ochrany (studený stav *COLD*) by bolo časovo náročné, boli zvolené iba **2 body**. Po každom nastavení prúdu  $III_B$  a následnom pôsobení ochrany je potrebné vymazanie tepelnej pamäte (vstup *RST* funkčného bloku tepelnej ochrany predstavoval *HMI Command* v *MENU Commands*). Ochrana na základe meraných prúdov a nastavených parametrov ochrannej funkcie počíta aktuálnu teplotu motora v °C. Po dosiahnutí vypínacej teploty *Trip Temperature* 155 °C dochádza k jej pôsobeniu. Doba pôsobenia tepelnej ochrany pri určitom nadprúde  $III_B$  bola

<sup>10</sup> v zahraničnej literatúre sa možno stretnúť s označením *blocking time*, *stall time*, *trip time at locked rotor from cold motor*. Táto hodnota je obvykle udávaná v katalógových údajoch výrobcu motora. Ak nie je známa hodnota  $t_{6x}$ , možno použiť hodnotu 1,1 násobok doby rozbehu motora.



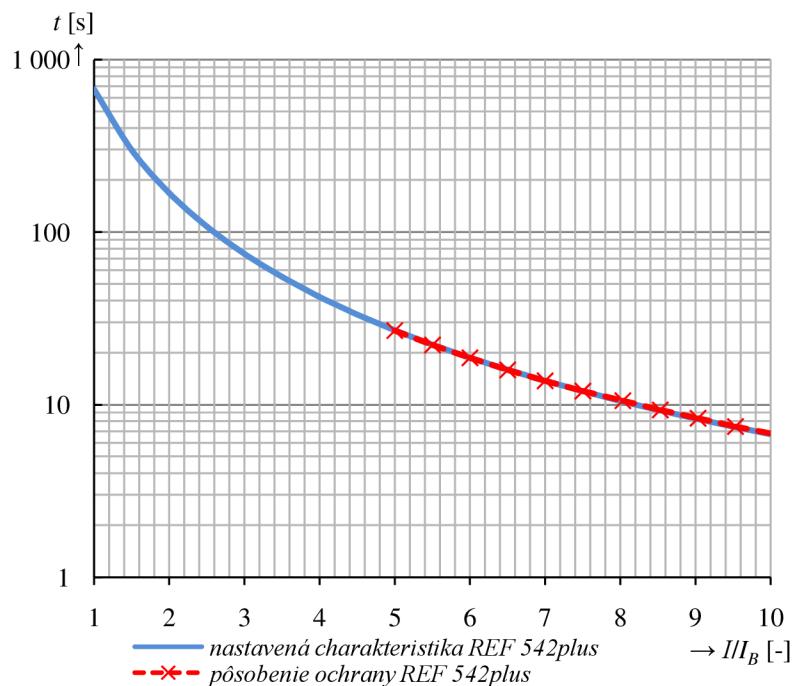
odčítaná z meracieho zariadenia FREJA, nakoľko terminál po pôsobení nezobrazuje čas pôsobenia tejto ochrannej funkcie. Pri testovaní bola použitá analógová karta s 8 sensorovými vstupmi, pričom využívané vstupy X81..X83 predstavovali meranie fázových prúdov motora. Tabuľky nastavovaných a nameraných hodnôt dopĺňa Príloha P.



Obr. 8-8 Vypínacia charakteristika tepelnej ochrany motora.

### 8.3.6 Ochrana rozbehu motora

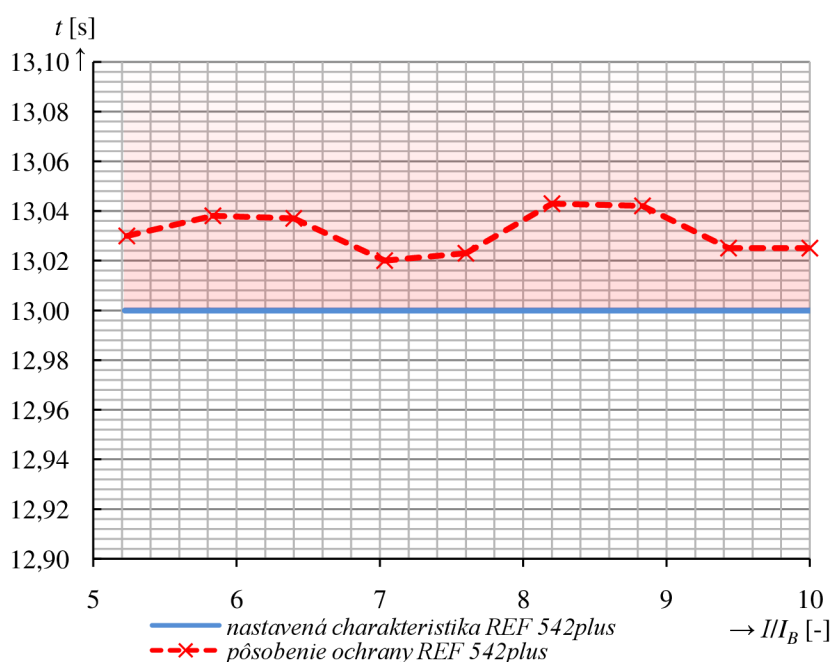
Vypínacia charakteristika ochrany rozbehu motora je v termináli REF 542plus reprezentovaná v rozmedzí záťažných prúdov motora  $III_B$  približne  $\langle 4,7; 6,3 \rangle$  [33]. Opäť ide o charakteristiku časovo závislú, čo potvrdzuje aj nameraná charakteristika na Obr. 8-9. Pri testovaní bola použitá analógová karta s 8 sensorovými vstupmi, pričom využívané vstupy X81..X83 predstavovali meranie fázových prúdov motora. Tabuľku nastavovaných a nameraných hodnôt dopĺňa Príloha P.



Obr. 8-9 Vypínacia charakteristika ochrany rozbehu motora.

### 8.3.7 Ochrana pri zablokovanom rotore

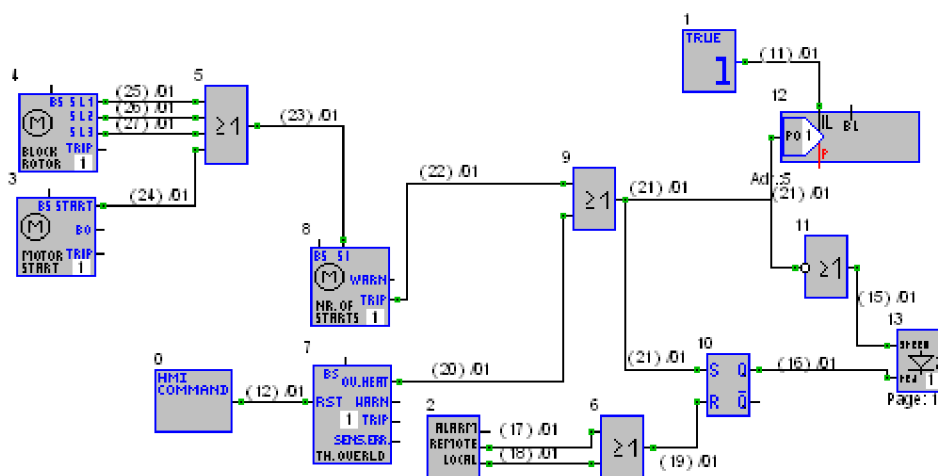
Vypínacia charakteristika ochrany pri zablokovanom rotore predstavuje vlastne ochranu skratovú s časovým oneskorením, v termináli REF 542plus je reprezentovaná v rozmedzí záťažných prúdov motora  $III_B$  približne v rozsahu nad  $6,3 \times III_B$  [33]. Ide o charakteristiku časovo nezávislú, čo potvrdzuje aj nameraná charakteristika na Obr. 8-10. Pri testovaní bola použitá analógová karta s 8 senzorovými vstupmi, pričom využívané vstupy X81..X83 predstavovali meranie fázových prúdov motora. Tabuľku nastavovaných a nameraných hodnôt dopĺňa Príloha P.



Obr. 8-10 Vypínacia charakteristika ochrany pri zablokovanom rotore.

### 8.3.8 Čítač počtu rozbehov motora

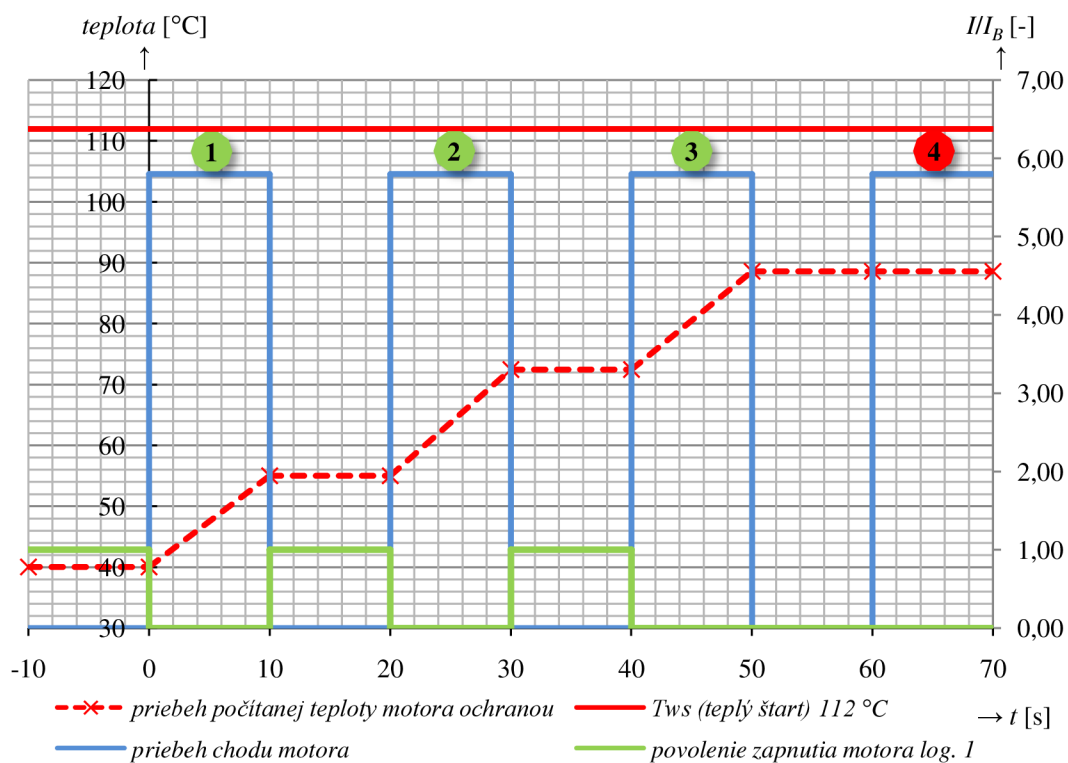
V závislosti na vypočítanej aktuálnej teplote motora ochranným terminálom, môže byť správne otestovaný aj čítač počtu rozbehov motora (rozbehy za studena – teplota motora pod hodnotou  $T_{ws}$ , rozbehy za tepla) na Obr. 8-11. Pre detekciu počtu rozbehov je na vstup *SI* (motor start signal) funkčného bloku 8 (*Nr. Of Starts*) privádzaný štartovací signál z funkčných blokov 4 *Block Rotor* a 3 *Motor Start* cez blok logického súčtu OR ( $\geq 1$ ). Ak signál na tomto vstupe *SI* zmení hodnotu z logickej 0 na logickú 1, zvýši sa čítač rozbehu motora o 1. To, či rozbeh motora bude považovaný za rozbeh za tepla alebo za studena, závisí od vypočítanej teploty motora. Ak je dosiahnutý povolený počet rozbehov a príde požiadavka na ďalšie spustenie motora, funkčný blok *Nr. Of Starts* na výstupe *TRIP* vygeneruje vypínací signál. Ten bude aktívny až do uplynutia doby  $t_{rst}$  (čas potrebný na schladenie motora po štarte).



Obr. 8-11 Konfigurácia pre testovanie čítača počtu rozbehov motora v programe FUPLA, vytvorené na základe [33].

Ochranná funkcia čítača počtu rozbehov motora bola otestovaná v určitých cykloch (Obr. 8-12). Cyklus tvoril spustenie motora (odoberaný záťažný prúd  $5,8xI_{IB}$  po čas trvania 10 s) – pauza 10 s – a opätovné spustenie motora. Čas odoberania záťažného prúdu 10 s bol zvolený s ohľadom na to, aby nezapôsobila ochrana pri zablokovanom rotore (nastavená na čas 13 s). Teplota motora na začiatku 1. štartu bola  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (nastavená). Po prvom štarte (po 10 s) teplota vzrástla na  $55,02\text{ }^{\circ}\text{C}$  a teda mohol byť uskutočnený aj druhý štart motora. Na konci druhého štartu bola odčítaná teplota motora z HMI jednotky terminálu  $72,46\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pričom po 10 s došlo k opätovnému spusteniu motora (v poradí tretie). Na konci tohto štartu bola teplota motora  $88,60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Keďže teplota  $88,60\text{ }^{\circ}\text{C}$  je menšia ako teplota  $112\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_{ws}$ ), a prišla požiadavka na spustenie motora v čase 60 s (zopnutie testovacieho systému FREJA), funkčný blok čítača počtu rozbehov správne vyhodnotil prekročenie povolených rozbehov za studena (3x) a preto v čase 60 s nedošlo k štvrtému rozbehu motora.

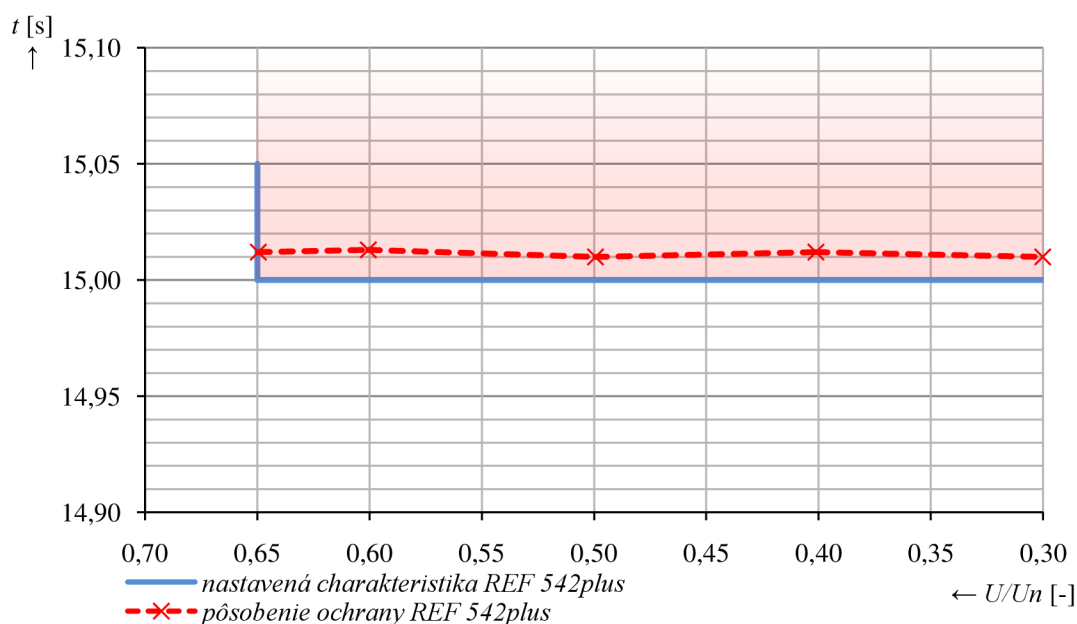
Tabuľku nastavovaných a nameraných hodnôt dopĺňa Príloha P.



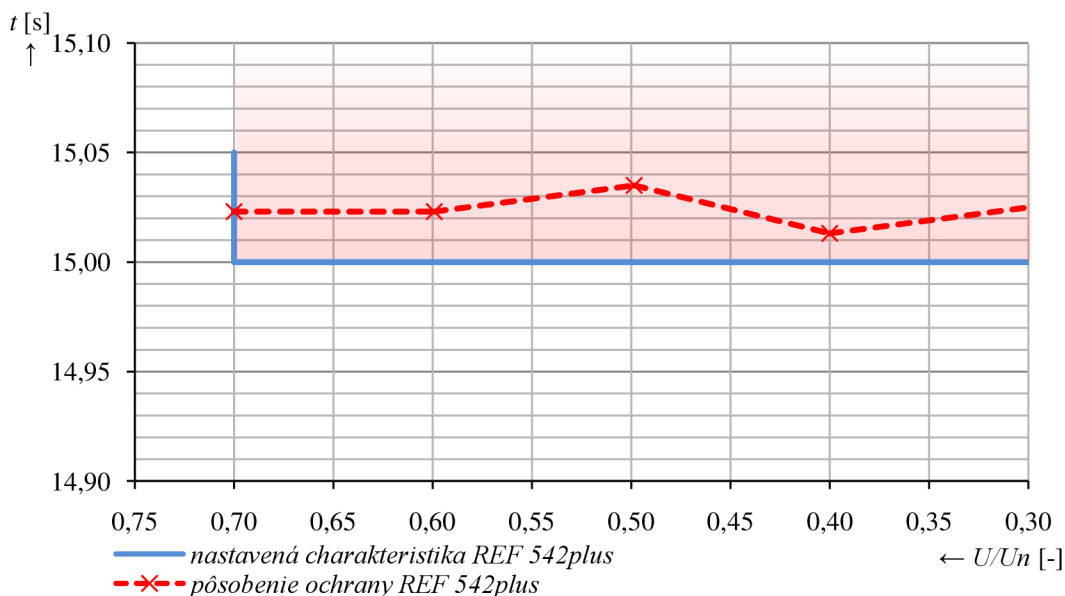
Obr. 8-12 Priebeg testovania čítača počtu rozbehov motora.

### 8.3.9 Podpät'ové ochrany

Keďže fázové napätia na hladine 6 kV merajú kombinované senzory, pri testovaní podpät'ovej ochrany motora (Obr. 8-13) bola použitá analógová karta so senzorovými vstupmi. Pre testovanie podpät'ovej ochrany na hladine 22 kV (Obr. 8-14) bola použitá analógová karta pre pripojenie prístrojových transformátorov napätia, ktoré merajú fázové napätia (pole pevnej spojky, pole merania). Po uplynutí nastaveného času (pri podpätí) ochrana zapôsobila a z *EVENT* listu boli odčítané časy pôsobenia a hodnoty zmeraných fázových napätí (zobrazuje Príloha P).



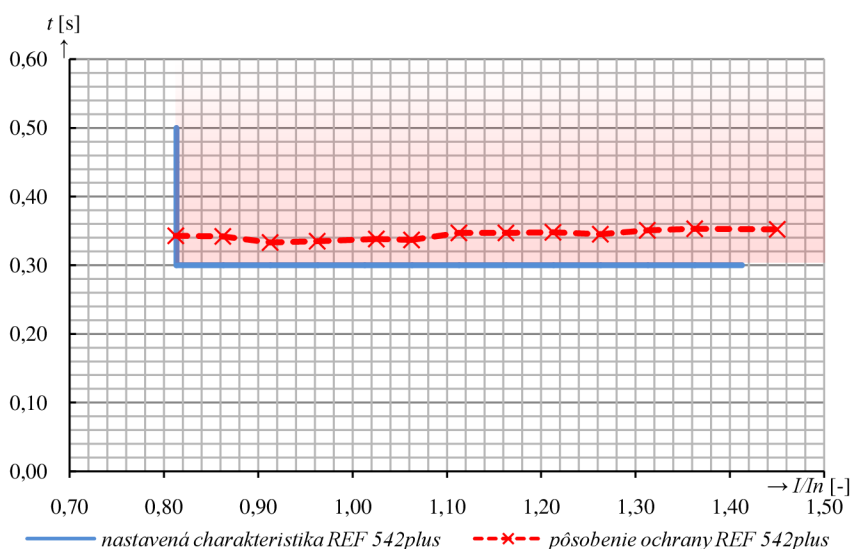
Obr. 8-13 Vypínacia charakteristika podpät'ovej ochrany motora.



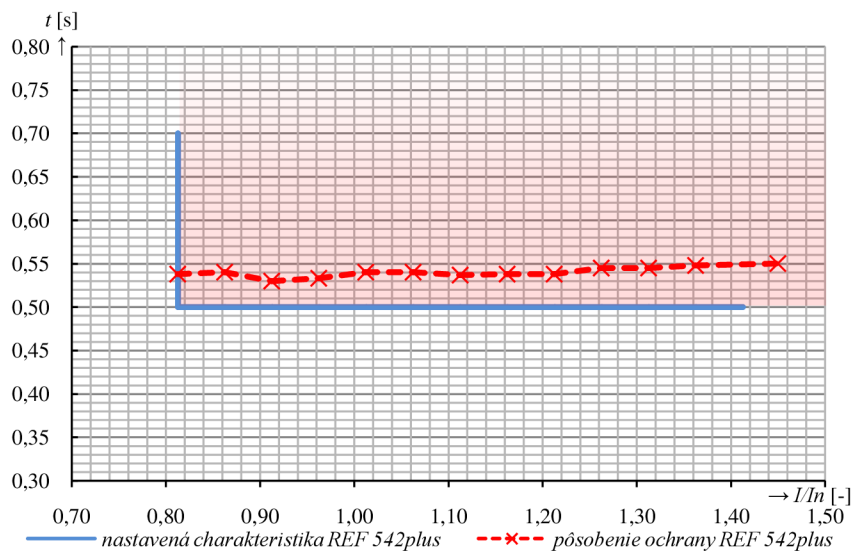
Obr. 8-14 Vypínacia charakteristika podpäťovej ochrany na hladine 22 kV.

### 8.3.10 Skratové ochrany

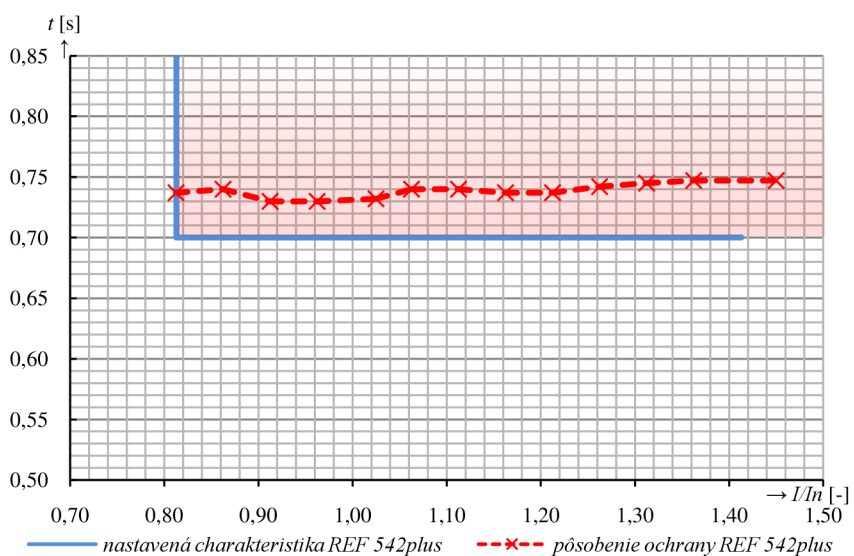
Pre testovanie skratových ochrán bola v termináli REF 542plus použitá analógová senzorová karta, pričom vstupy X81..X83 predstavovali vstupy od senzorov KEVCD A. Selektivita skratových ochrán bola dosiahnutá časovým odstupňovaním pôsobenia s popudovou hodnotou prúdu  $0,813 \cdot I_n$  v prípade vývodových motorových polí (Obr. 8-15), pozdĺžnej spojky prípojnic (Obr. 8-16) a prírodných polí rozvode (Obr. 8-17). Skratová ochrana vývodového poľa transformátora podľa výpočtu nastavená na popudovú hodnotu prúdu  $4,75 \cdot I_n$  s časovým oneskorením 0,3 s (Obr. 8-18). Z nameraných a vypočítaných hodnôt (Príloha P) boli zostrojené nasledovné vypínacie charakteristiky.



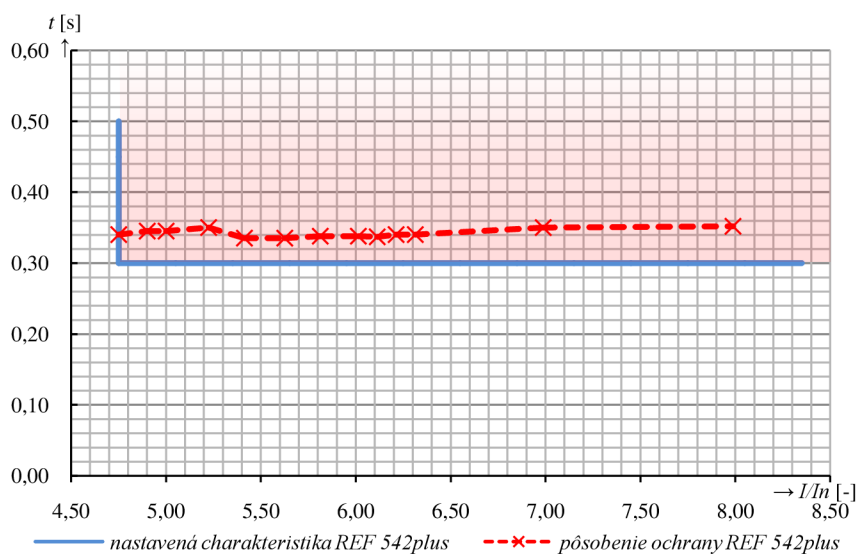
Obr. 8-15 Vypínacia charakteristika skratovej ochrany motorových polí.



Obr. 8-16 Vypínacia charakteristika skratovej ochrany v poli spojky.



Obr. 8-17 Vypínacia charakteristika skratovej ochrany v prívodných poliach.



Obr. 8-18 Vypínacia charakteristika skratovej ochrany v transformátorových poliach.

## 9 ZÁVER

Kapitola zhrňuje najdôležitejšie nadobudnuté poznatky diplomovej práce – súčasný stav problematiky, závery výsledkov práce, jej význam a použitie.

### 9.1 Súčasný stav riešenej problematiky

Napriek niektorým súčasným technickým obmedzeniam prinášajú elektronické prístrojové transformátory (senzory) v systéme chránenia značné výhody oproti klasickým prístrojovým transformátorom. Medzi hlavné patrí predovšetkým lineárna charakteristika a presnosť v celom meracom rozsahu, kompaktnosť a v neposlednom rade veľkosť výstupného analógového signálu. Tieto vlastnosti môžu byť využívané pri presnejšom určovaní parametrov ochranných funkcií, obzvlášť pri nadprúdových a rozdielových ochranných funkciách, kedy nedochádza k presýteniu meracích zariadení ani pri prechodových dejoch. Presnosť v celom meracom rozsahu senzoru ďalej umožňuje citlivejšie nastavovanie charakteristiky rozdielovej ochrany, čo spôsobí zapôsobenie tejto ochrannej funkcie už na menšie rozdielové prúdy (rýchlejšie zachytenie poruchy a tým aj obmedzenie jej možných následkov).

Aj keď sa neustále pracuje na odstránení technických obmedzení senzorov, ako najideálnejšie sa zatiaľ javí použitie kombinácie prúdových senzorov spolu s prístrojovými transformátormi napätia. Toto riešenie je použité aj v diplomovej práci pri návrhu systému chránenia. Keďže sa senzory môžu pripájať iba k jednému ochrannému terminálu, napäťové meranie vo vývodových poliach rozvodne je realizované káblou priebežkou prechádzajúcou z poľa pevnej spojky alebo z poľa merania (kde sú umiestnené prístrojové transformátory napätia). Odstránenie tohto obmedzenia na strane senzorov umožní rozšírenie štandardu IEC 61850-9-2, ktorý sa zaoberá požiadavkami na prenos analógových veličín pre účely chránenia. Obmedzenie v zmysle maximálnej novej dĺžky pripojeného senzorového káblu (aktuálne 10 m) je v štádiu testovania. Predbežné výsledky poukazujú na možnosť použitia pre väčšie dĺžky sekundárnych senzorových káblov. Pokiaľ sa tieto výsledky potvrdia aj ďalšími testami, môžu byť senzory využívané aj pre potreby chránenia zariadenia rozdielovou ochranou.

### 9.2 Závery práce

#### **Chránenie rozvodne vn s použitím senzorov a prístrojových transformátorov**

V tejto kapitole sú predstavené prístrojové transformátory typu TJP a kombinované senzory typu KEVCD A, ktoré využívame v systéme chránenia polí rozvodne pre meranie napätí a prúdov. Pre správne pochopenie výpočtu a nastavenia vybraných ochranných funkcií sú uvedené základné princípy zemnej ochrany, rozdielovej ochrany, skratovej ochrany a tepelnej ochrany.

#### **Problematika pripojenia vn rozvodne do distribučnej siete**

Rozvodňa je tvorená rozvádzačovým poľom s deviatimi jednotkami UniGear typ ZS1. Chránenými zariadeniami sú typické záťaže v podobe výkonových transformátorov a motorov. Rozvodňa je pripojená do distribučnej siete spoločnosti E.ON s reálnymi skratovými výkonmi

v mieste pripojenia trafostanice ABB č. 2971, Vídeňská 117, Brno, prostredníctvom navrhnutého káblového vedenia. Pri návrhu káblových prípojok je predpoklad rovnakých skratových pomerov v oboch pripájacích bodoch (požadovaný zvýšený stupeň zabezpečenia dodávky elektrickej energie). Pre návrh káblových prípojok, nastavenie skratových ochrán je nutné kontaktovať prevádzkovateľa distribučnej siete, ktorý poskytne informácie o skratových výkonoch v mieste pripojenia rozvodne, o spôsobe prevádzky uzla transformátora 110/22 kV (odvíja sa od neho systém chránenia), kapacitný prúd siete a v neposlednom rade maximálny dovolený čas vypnutia poruchy v mieste pripojenia rozvodne do distribučnej siete. Každé pripojenie rozvodne je potrebné posudzovať podľa vlastností odberu alebo výroby v rámci jednania medzi užívateľom a prevádzkovateľom siete. V priebehu vybavovania žiadosti o pripojení rozvodne sa prevádzkovateľ distribučnej siete a užívateľ dohodnú na systéme chránenia, vypínacích časoch, selektivite a citlivosti ochrán v mieste pripojenia.

Poznámka: diplomová práca nerieši návrh bleskozvodu a uzemňovacej sústavy stanice.

### Výpočet skratových prúdov

Veľkosť skratového prúdu v trojfázovom striedavom systéme závisí od konfigurácie siete, generátorov, motorov v činnosti a od stavu siete pred poruchou. Skratové prúdy sú vypočítané metódou výpočtu počiatočného súmerného skratového prúdu podľa štandardu ČSN EN 60909. Pre nastavenie skratových ochrán je však potrebný výpočet minimálnych skratových prúdov (teda napríklad nie je uvažovaný príspevok motorov), uvažuje sa príspevok skratového prúdu do miesta skratu iba od distribučnej siete. V kapitole sú taktiež uvedené výpočty náhradných impedancií transformátorov, motorov a používaných káblových vedení.

### Návrh systému chránenia, výpočet a nastavenie ochranných funkcií

Výber ochranných funkcií pre dané chránené zariadenie (motor, transformátor) musí byť realizovaný na základe štandardov, noriem, prepojenia s napájacou sieťou, skratových pomerov, spôsobu spojenia uzla napájacej siete so zemou. Výber a množstvo použitých ochranných funkcií určuje aj celkovú kvalitu chránenia. Súčasne však záleží aj od vlastníka zariadenia (zákazníka), či pre chránenie zvolí vyššiu mieru chránenia než odporúča štandard ČSN 33 3051.

Pre chránenie polí rozvodne je použitý ochranný terminál REF 542*plus*. Výpočet parametrov vybraných ochranných funkcií je uskutočnený na základe teoretických znalostí problematiky chránenia zariadení rozvodne a odporúčania výrobcu ochrany.

### Sekundárne skúšky ochrán

Skúšky pred uvedením zariadenia do prevádzky sú určené predovšetkým k zisteniu chýb montáže a nežiaducich zmien rozvodného zariadenia spôsobených napríklad dopravou, skladovaním. Vykonávajú sa na kompletne zmontovanom elektrickom zariadení s čo možno najmenšími zásahmi pre pripojenie skúšobných zariadení. Diplomová práca obsahuje výsledky zo sekundárnych skúšok ochrán s použitím testovacieho systému ochrán FREJA 300, čo overuje nielen správne nastavenie parametrov ochranných funkcií ale aj kvalitu spracovania signálov, ktoré prijíma ochranný terminál prostredníctvom analógovej karty pre pripojenie prístrojových transformátorov alebo senzorov. Súčasne však nebola skúmaná funkčnosť a presnosť celého



systemu senzor/prístrojový transformátor – analógová karta – ochrana prostredníctvom primárnych skúšok, ale senzor/prístrojový transformátor zastupoval sekundárny tester (sekundárne skúšky). Presnejšie spracovanie výsledkov merania by mohlo byť riešené napríklad z analýzy poruchových zapisovačov, čo však ale nie je bežná prax pri sekundárnych skúškach ochrán a súčasnom uvádzaní zariadenia do prevádzky. Tab. 9-1 uvádza popis tried presností, meracích rozsahov a rozlíšenie vstupov/výstupov použitých zariadení pri testovaní ochranných funkcií.

Tab. 9-1 Presnosti použitých zariadení pri testovaní sekundárnych skúšok ochrán [30], [7].

REF 542plus - meranie	trieda	rozsah
fázový prúd, zemný prúd	0,5	0,1 – 4xIn
fázové napätie, združené napätie	0,5	0,2 – 1,5xUn
FREJA 300	chyba	rozlíšenie
senzorové výstupy (U) 3x0..2 V <sub>RMS</sub> (I) 3x0..2 V <sub>RMS</sub>	< 0,1 %	250 uV
napät'ové výstupy (4 AC) 4x150 V (I AC, L-L) 2x300 V	±0,01 % z rozsahu, ±0,05 % čítania	SW 10 mV HW 6,5 mV
prúdové výstupy (3 AC) 3x15 A (I AC) 1x45 A	±0,01 % z rozsahu, ±0,3 % čítania	SW 1 mA HW 0,65 mA
meranie napätia	< 1 %	± 1digit
meranie prúdu	< 2 %	± 2digit

Pre testovanie každej ochrannej funkcie je vytvorená funkčná schéma v jazyku FUPLA, ktorá obsahuje blok testovanej ochrannej funkcie s daným nastavením. Z výstupu *TRIP* tohto bloku je privedený signál na funkčný blok binárneho výstupu (1-0) a to na jeho vstup *PO 1 (pulse output)*. Tento blok binárneho výstupu predstavuje povel k vypnutiu výkonového vypínača.

Čas pôsobenia ochrany je definovaný ako čas medzi detekciou vzniku poruchy a zopnutím kontaktu, cez ktorý je napájaná vypínacia cievka výkonového vypínača. Minimálny čas pôsobenia ochrany udáva [30] 15 ms (bez uvažovania času pôsobenia samotného výkonového vypínača). Keďže pri testovaní sekundárnych skúšok ochrán bolo použité testovacie zariadenie a relé LOGO! (simulácia signálov výkonových prvkov poľa rozvodne), vznikol určitý rozdiel medzi nameraným a nastaveným (vypočítaným) časom pôsobenia ochrany. Rozdiel je spôsobený rozdielnym:

- časom zopnutia binárneho vstupu na testovacom zariadení FREJA 300 a tým aj rozdielnym časom vypnutia zdroja,
- stálosťou a stabilitou zdroja testovacieho zariadenia, ktorá sa prejavuje nielen pri testovaní časovo dlhšie pôsobiacich ochranných funkcií akou je napríklad tepelná ochrana motora, ale aj pri testovaní rozdielovej ochrany,
- časom pôsobenia relé LOGO! v skúšobnom paneli (rádovo jednotky až desiatky ms),
- časom zopnutia binárneho výstupu na ochrane.

Priebeh a výsledky sekundárnych skúšok ochrán uvádza kapitola 8.3 a Príloha P, porovnanie časov pôsobenia ochrany pri jednotlivých testovaných ochranných funkciách zobrazuje Tab. 9-2.

Tab. 9-2 Porovnanie časov pôsobenia ochrany REF 542plus pri testovaní ochranných funkcií.

testovaná ochranná funkcia	časové nastavenie pôsobenia ochrany [ms]	rozdiel medzi nameraným a nastaveným časom pôsobenia ochrany [ms]	
		minimálny rozdiel	maximálny rozdiel
zemná smerová ochrana	1000	0	17
zemná ochrana motora	1000	2	15
rozdielová ochrana transformátora (časy odčítané z testeru FREJA)	-	39	96
rozdielová ochrana motora (časy odčítané z testeru FREJA)	-	30	157
tepelná ochrana motora (časy odčítané z testeru FREJA)	časovo závislá	80	570
ochrana rozbehu motora	časovo závislá	4	49
ochrana pri zablokovanom rotore	13000	20	43
podpäťová ochrana (6 kV, senzory)	15000	10	13
podpäťová ochrana (22 kV, PTN)	15000	13	35
skratová ochrana 0,3 s; 0,813.In	300	33	53
skratová ochrana 0,5 s; 0,813.In	500	30	50
skratová ochrana 0,7 s; 0,813.In	700	30	47
skratová ochrana 0,3 s; 4,75.In	300	35	52

### 9.3 Význam a využitie dosiahnutých výsledkov

Diplomovú prácu možno využiť pri štúdiu pripojenia rozvodne vysokého napätia do distribučnej siete z pohľadu návrhu privodných káblov, návrhu systému chránenia použitých výkonových zariadení, výpočtu skratových pomerov a nastavenia ochranných funkcií pre terminál riadenia a chránenia podľa REF 542plus. Praktická časť poskytuje možné spôsoby otestovania rozvodne so zameraním na testovanie ochrán (sekundárne skúšky ochrán).

Práca vo svojom obsahu poskytuje základné poznatky pre pripájanie rozvodne, cez výpočet a nastavenie ochranných funkcií až po uvádzanie rozvodne do prevádzky. Komplexné riešenie tejto obsiahlej problematiky vyžaduje od projektanta praktické znalosti z rozličných odborov, ktoré však získava väčšinou až projektantskou praxou.

## POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] ABB CZEJF. *Technical Specification for MV Switchgear UniGear ZS1*. Brno, Czech Republic: ABB, 2011, 27 strán.
- [2] ABB S.p.A., Power Products Division. *Protection criteria for medium voltage networks – Technical guide*. Dalmine: ABB, 2009, 52 strán.
- [3] ABB, Motors&Generators. *ABB High Voltage Induction Motors – Technical catalogue*. Finland: ABB, 2007, 148 strán.
- [4] GRYM, R., et al. *Chránění II*. Havířov: Iris, 2004, 305 strán. ISBN 80-903540-0-9.
- [5] ALSTOM GRID. *Network Protection & Automation Guide*. UK: ALSTOM GRID, 2011, 476 strán. ISBN 978-0-9568678-0-3.
- [6] SIEMENS AG. *Applications for SIPROTEC Protection Relays*. SIEMENS, 2005, 228 strán.
- [7] MEGGER. *FREJA 300 – Relay Test System*. MEGGER, 2011, 10 strán.
- [8] ČSN EN 60909-0 (33 3022). *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Část 0: Výpočet proudů*. Praha: ČNI, 05/2002, 62 strán.
- [9] ABB s.r.o. *UniGear typ ZS1 – Kovově krytý, vzduchem izolovaný rozváděč vysokého napětí, odolný proti vnitřním obloukovým zkratům*. Brno: ABB, 2005, 91 strán.
- [10] JANÍČEK, F., et al. *Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave*. Bratislava: STU, 2004, 360 strán. ISBN 80-227-2135-2.
- [11] HUDECZEK, M., et al. *Chránění I: elektrická zařízení do 1000 V*. Havířov: IRIS, 2004, 364 strán. ISBN 80-903540-1-7.
- [12] ABB s.r.o. *Transformátory napětí pro vnitřní prostředí – TJP 6.x*. Brno: ABB, 2004, 4 strany.
- [13] ABB s.r.o. *Kombinovaný senzor pro vnitřní použití – KEVCD*. Brno: ABB, 2007, 10 strán.
- [14] ABB s.r.o. *Sensor Accessories – Connector adapters; Current adapters*. Brno, Czech Republic: ABB, 2011, 10 strán.
- [15] MEŠTER, M. *Výpočet skratových prúdov v trojfázových striedavých sústavách*. Košice: ABB Elektro, s.r.o. Bratislava, 2005, 94 strán. ISBN 80-89057-10-1.
- [16] ČSN 33 2000-5-523 (332000). *Elektrické instalace budov - Část 5 – Výběr a stavba elektrických zařízení - Oddíl 523: Dovolené proudy v elektrických zařízeních*. Praha: ČNI, 05/2003, 56 strán.
- [17] ABB s.r.o. *Cable termination, indoor and outdoor, premolded SOT 12-36 kV*. ABB, 2010, 6 strán.
- [18] Draka Kabely s.r.o. *Kabely pro vysoké napětí 22-AXEKVCEY 12,7/22 (25) kV-katalog*. 3 strany. Dostupný z WWW: [http://www.draka.cz/images/stories/vn/1/22-axekvcey\\_127\\_22\\_25\\_kv.pdf](http://www.draka.cz/images/stories/vn/1/22-axekvcey_127_22_25_kv.pdf).
- [19] Draka Kabely s.r.o. *Kabely pro vysoké napětí 10-CXEKVCEY 6/10 (12) kV-katalog*. 3 strany. Dostupný z WWW: [http://www.draka.cz/images/stories/vn/2/10-cxekvcey\\_6\\_10\\_12\\_kv.pdf](http://www.draka.cz/images/stories/vn/2/10-cxekvcey_6_10_12_kv.pdf).
- [20] ABB Sp. z o.o. *Liquid filled transformers – IEC standard small and medium, rated power <2500 kVA, HV<36 kV*. Poland: ABB, 2010, 12 strán.
- [21] VERNER, J. *Elektrické stanice a vedení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1985, 157 strán.
- [22] ABB Transformers. *Transformátory plněné kapalinou*. Switzerland: ABB, 2003, 18 strán.

- [23] MACHÁČEK, V. *Novelizované podmínky pro připojení zařízení k elektrizační soustavě (1. část) : Vyhláška ERÚ č. 51/2006 Sb., ve znění vyhlášky č. 81/2010 Sb.*. Elektro [online]. 2010, 11, [cit. 2011-11-12]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=42198](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=42198)>.
- [24] MACHÁČEK, V. *Novelizované podmínky pro připojení zařízení k elektrizační soustavě (2. část - dokončení) : Vyhláška ERÚ č. 51/2006 Sb., ve znění vyhlášky č. 81/2010 Sb.*. Elektro [online]. 2010, 12, [cit. 2011-11-12]. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=42354](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=42354)>.
- [25] Provozovatelé distribučních soustav. *Pravidla provozování distribučních soustav : Příloha 4: Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy*. 2011. 72 strán. Dostupné z WWW: <<http://www.eru.cz/dias-searchresults.php?highlight=PPDS&where=articles&x=0&y=0>>.
- [26] E.ON, Distribuce, a.s. *Pravidla provozování distribuční soustavy*. 2009. 87 strán. Dostupné z WWW: <<http://www.eon-distribuce.cz/cs/distribuce-elektriny/predpisy.shtml>>.
- [27] E.ON, Distribuce, a.s. *Pravidla provozování distribuční soustavy : Příloha 6: Standardy připojení zařízení k distribuční soustavě*. 2009. 17 strán. Dostupné z WWW: <<http://www.eon-distribuce.cz/cs/distribuce-elektriny/predpisy.shtml>>.
- [28] ČSN 33 3051 (333051). *Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení*. Federální úřad pro normalizaci a měření. 1992. 24 strán.
- [29] ČEPS, ČEZ Distribuce, E.ON Distribuce, E.ON ČR, ZSE. *PNE 38 4065. Provoz, navrhování a zkoušení ochrany a automatik*. 2008. 60 strán.
- [30] ABB Oy, Distribution Automation. *Feeder Terminal REF 542plus – Product Guide*. Finland: ABB, 32 strán.
- [31] ABB Oy, Distribution Automation. *Differential Protection with REF 542plus Feeder Terminal – Application and Setting Guide*. Finland: ABB, 24 strán.
- [32] ABB Oy, Distribution Automation. *REF 542plus – Protection Functions: Configuration and Settings, Protection manual*. Finland: ABB, 2009, 360 strán.
- [33] ABB Oy, Distribution Automation. *REF 542plus – Multifunction Protection and Switchgear Control Unit: Manual Motor Protection with ATEX-Certification*. Finland: ABB, 2005, 66 strán.
- [34] ERÚ. *Roční zpráva o provozu ES ČR 2010, mapa sítě E.ON Distribuce, a.s.* ERÚ, 2010, 29 strán. Dostupné z WWW: <[http://eru.cz/user\\_data/files/statistika\\_elektro/rocní\\_zprava/2010/rz/index.htm](http://eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocní_zprava/2010/rz/index.htm)>.
- [35] BERNARD, L. *Závady v jištění výkonových transformátorů*. ELEKTRO: odborný časopis pro elektrotechniku [online]. 2008(11) [cit. 2012-01-12]. Dostupné z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=38057](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38057)>.
- [36] TOPOLÁNEK, D. *Lokalizace místa zemního spojení v kompenzované distribuční síti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2011, 148 strán.
- [37] TÍM SCADA A KOMUNIKÁCIE, ZSE Distribúcia, a.s. *Testovacia dokumentácia V2.0 pre certifikované spoločnosti – funkčné skúšky*. Bratislava, 2011, 118 strán. Dostupné z WWW: <[www.zse.sk/index.php?www=sp\\_file&id\\_item=790](http://www.zse.sk/index.php?www=sp_file&id_item=790)>.
- [38] HONZÍK, J. *Rozvodná zařízení. ČSN 33 3210 (1.)*. Elekrika.cz. 2004. ISSN 1212-9933. Dostupné z WWW: <<http://elektrika.cz/data/clanky/ddor040106/view>>.
- [39] DVOŘÁK, M. ABB. *Product presentation: PPMV Instrument transformers*. Brno, 2008.
- [40] GRYM, R., et al. *Chránění III*. Havířov: Iris, 2005, 279 strán. ISBN 80-903540-5-X.
- [41] ABB Oy. *REF 542plus Configuration Tool* [počítačový program]. Ver. V4F.08b.
- [42] MEGGER. *FREJA Win* [počítačový program]. Ver. 5.3 SP1.