

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

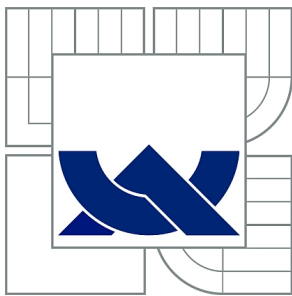
TESTOVÁNÍ OCHRANY PŘI ZEMNÍM SPOJENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

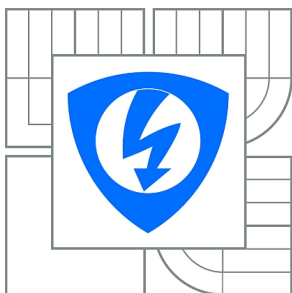
RADEK HERŮFEK

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## TESTOVÁNÍ OCHRANY PŘI ZEMNÍM SPOJENÍ

EARTH FAULT RELAY TESTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

RADEK HERŮFEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAVA ORSÁGOVÁ,  
Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

**Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

**Student:** Radek Herůfek

**ID:** 128124

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2012/2013

**NÁZEV TÉMATU:**

**Testování ochrany při zemním spojení**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Popis a charakteristiky zemního spojení v kompenzované distribuční síti.
2. Princip činnosti ochrany při zemním spojení.
3. Testování správné funkce ochrany prostřednictvím poruchových záznamů.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 11.2.2013

**Termín odevzdání:** 31.5.2013

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

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

*Předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

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

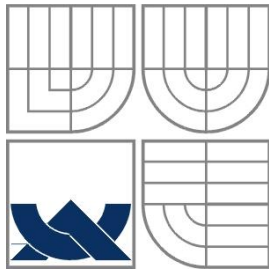
Bibliografická citace práce:

HERŮFEK, R. Testování ochrany při zemním spojení. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013, 62 stran. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

Zároveň bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce paní doc. Ing. Jaroslavě Orságové, Ph.D. za její rady a čas, který mi věnovala, při řešení dané problematiky.

.....



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií**  
**Ústav elektroenergetiky**

**Bakalářská práce**

# **Testování ochrany při zemním spojení**

**Radek Herůfek**

**vedoucí: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D**

**Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2013**

**Brno**



**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

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

**Bachelor's Thesis**

# **Earth fault relay testing**

**by**

**Radek Herůfek**

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

**Brno University of Technology, 2013**

**Brno**

## ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o ochraně při zemním spojení v kompenzované vysokonapěťové distribuční síti. Na začátku práce je popsán způsob provozu kompenzované soustavy a jsou objasněny výhody a nevýhody při jejím používání. Kromě toho je uvedena definice zemního spojení, její druhy a je nastíněn způsob řešení jednofázové nesymetrické poruchy. Důkladně je charakterizováno rozložení napětí a proudů, které je podstatné pro určení postiženého a nepostiženého vývodu. Mimo jiné je popsán způsob působení zhášecí tlumivky na vzniklý poruchový proud a jsou také představeny pomocné systémy automatiky. V další části jsou uvedeny základní požadavky na ochrany a jejich základní rozdělení. Na závěr teoretické části je popsán princip zemního relé a jsou uvedeny používané prostředky a metody pro indikaci postiženého vývodu a lokalizaci zemního spojení.

V praktické části následuje podrobný popis použité ochrany REM 543 a zkušebního zařízení OMICRON CMC 256+. Dále je objasněn postup zapojení a nastavení vybraných funkcí a modulů za účelem testování zemního relé. V závěru práce je zhodnocení vytvořených a přehrávaných poruchových záznamů.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** kompenzovaná síť; zemní spojení; terminál točivého stroje REM 543; směrová a nesměrová zemní ochranná funkce; poruchový zapisovač MEDREC16; OMICRON CMC 256+

---

## **ABSTRACT**

Bachelor thesis deals with an earth fault relay in compensated medium voltage distribution network. At the beginning of the thesis is described the method of operation compensated system and its advantages and disadvantages of using it. In addition, there is explained the definition of the ground fault, its types and there is outlined the method of solution asymmetrical single-phase fault. Thoroughly there is characterized distribution of voltages and currents, which is important for determination of affected and unaffected outlet. Among others, there is described the mode of action the arc suppression coil on caused fault current and also there are presented the auxiliary systems automation. In the next part the basic requirements for protections and its basic kinds are described. Finally the theoretical part describes principle of the earth fault relays and is presented means and methods used for indicate an affected outlet and earth fault localization.

In the practical part, follows more detailed description of the protection REM 543 and testing equipment OMICRON CMC 256+. In addition, there is explained connection process and setting selected functions and modules for testing earth fault relay. Assessment of generated and played transient disturbance records at the end.

**Key words:** compensated network; earth fault; machine terminal REM 543; directional and non-directional earth-fault protection function; transient disturbance recorder MEDREC16; OMICRON CMC 256+



## OBSAH

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>13</b>
<b>2 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 VOLBA ZPŮSOBU UZEMNĚNÍ UZLU TRANSFORMÁTORU PRO VN PROVOZ .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 ZPŮSOBY UZEMNĚNÍ UZLU TRANSFORMÁTORU .....</b>	<b>14</b>
2.2.1 KOMPENZOVANÉ SOUSTAVY .....	15
<b>3 ZEMNÍ SPOJENÍ .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 METODA SOUMĚRNÝCH SLOŽEK.....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 ZEMNÍ SPOJENÍ V KOMPENZOVANÉ DISTRIBUČNÍ SÍTI .....</b>	<b>17</b>
3.2.1 CHARAKTERISTIKY ZS V KOMPENZOVANÉ SÍTI .....	17
3.2.2 POMĚRY U A I NA POSTIŽENÉM A NEPOSTIŽENÉM VÝVODU PŘI ZS.....	18
<b>3.3 KOMPENZACE A PORUCHOVÝ PROUD.....</b>	<b>20</b>
3.3.1 ZHÁŠECÍ TLUMIVKA.....	20
<b>4 OBECNĚ OCHRANY .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1 TRÍDĚNÍ OCHRAN .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY NA OCHRANY .....</b>	<b>24</b>
<b>4.3 OCHRANY PŘI ZEMNÍM SPOJENÍ .....</b>	<b>24</b>
<b>4.4 PROSTŘEDKY PRO INDIKACI A LOKALIZACI PORUCHY .....</b>	<b>25</b>
4.4.1 INDIKACE POSTIŽENÉHO VÝVODU .....	25
4.4.2 LOKALIZACE PORUCHY.....	25
4.4.3 METODY LOKALIZACE PORUCHY.....	26
<b>5 NASTAVENÍ A POPIS PRACOVÍŠTĚ .....</b>	<b>28</b>
<b>5.1 TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ OMICRON CMC 256+ .....</b>	<b>28</b>
5.1.1 OMICRON TEST UNIVERSE.....	28
<b>5.2 TESTOVANÝ TERMINÁL A OCHRANNÉ FUNKCE.....</b>	<b>34</b>
5.2.1 TERMINÁL TOČIVÉHO STROJE REM 543.....	34
5.2.2 POPIS FUNKCÍ REM 543.....	35
<b>5.3 PRACOVÍŠTĚ PRO TESTOVÁNÍ OCHRANY.....</b>	<b>41</b>
5.3.1 ZAPOJENÍ OMICRONU CMC 256+ .....	41
5.3.2 ZAPOJENÍ TERMINÁLU TOČIVÉHO STROJE REM 543 .....	42
<b>6 PRAKTICKÁ ČÁST MĚŘENÍ .....</b>	<b>44</b>
<b>6.1 NASTAVENÍ PARAMETRŮ OCHRANY .....</b>	<b>44</b>
<b>6.2 URČENÍ PARAMETRŮ SIMULOVANÉ SÍTĚ.....</b>	<b>44</b>
<b>6.3 NAMĚŘENÉ PORUCHOVÉ ZÁZNAMY.....</b>	<b>47</b>
6.3.1 POROVNÁNÍ SIMULOVANÉ PORUCHY A PORUCHOVÉHO ZÁZNAMU .....	48
6.3.2 SMĚROVÁ A NESMĚROVÁ OCHRANNÁ FUNKCE .....	51

---

6.3.3 VLIV ZAPOJENÍ UZLU PTP.....	52
<b>7 ZÁVĚR.....</b>	<b>53</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>55</b>
PŘÍLOHA A – SCHÉMA ZAPOJENÍ PRACOVIŠTĚ [18], [15] .....	57
PŘÍLOHA B – TABULKA S PARAMETRY ÚSEKŮ LAN VÝVODU KASEJOVICE [22] .....	58
PŘÍLOHA C – SIMULOVANÁ SÍŤ V PORUCHOVÉM ZÁZNAMU [22].....	59
PŘÍLOHA D – SVORKOVNICOVÉ SCHÉMA TERMINÁLU REM 543 [18] .....	60

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1: Kompenzovaná síť [1]</i> .....	15
<i>Obr. 3-1: Náhrada nesymetrického fázoru symetrickými [1]</i> .....	17
<i>Obr. 3-2: Rozložení napětí a proudů při jednofázovém zemním spojení [1]</i> .....	18
<i>Obr. 3-3: Fázorový diagram pro a) nepostižený a za b) postižený vývod při ZS [1]</i> .....	19
<i>Obr. 3-4: Netočivé schéma kompenzované soustavy [1]</i> .....	20
<i>Obr. 3-5: Zjednodušené schéma automatiky ladění zhášecí tlumivky [1]</i> .....	21
<i>Obr. 3-6: Příklad rezonanční křivky [1]</i> .....	22
<i>Obr. 3-7: Zobrazení oblastí <math>U_0</math> v komplexní rovině [1]</i> .....	22
<i>Obr. 3-8: Zapojení a časové působení pomocného odporu s přizemněním postižené fáze [1]</i> .....	23
<i>Obr. 4-1: Příklad charakteristiky wattmetrického článku [1]</i> .....	27
<i>Obr. 5-1: Tabulka s výběrem napěťových a proudových výstupů</i> .....	28
<i>Obr. 5-2: Úvodní stránka programu Test Universe</i> .....	29
<i>Obr. 5-3: Modul Transient Ground Fault s tabulkou parametrů testu</i> .....	30
<i>Obr. 5-4: Zapojení PTP a) uzel do přípojníc b) uzel do vedení</i> .....	31
<i>Obr. 5-5: Parametry transformátoru v modulu Transient Ground Fault</i> .....	31
<i>Obr. 5-6: Parametry sítě v modulu Transient Ground Fault</i> .....	32
<i>Obr. 5-7: Obecné parametry v modulu Transient Ground Fault</i> .....	32
<i>Obr. 5-8: Detailní náhled v Advanced TransPlay</i> .....	33
<i>Obr. 5-9: Náhled na časové signály s tabulkou vlastností signálů</i> .....	34
<i>Obr. 5-10: Terminál CAP 505</i> .....	35
<i>Obr. 5-11: Operační charakteristika při <math>\varphi_b = 0^\circ</math>, <math>\Delta\varphi = 80^\circ</math> a spouštěcí proud <math>1,0\% I_n</math> [12]</i> ...38	
<i>Obr. 5-12: Operační charakteristika <math>I_0 \cos(\varphi)</math> [12]</i> .....	38
<i>Obr. 5-13: Záložka ochranné funkce DEF2 s možnostmi nastavení</i> .....	39
<i>Obr. 5-14: Tabulka s parametry poruchového zapisovače MEDREC16</i> .....	40
<i>Obr. 5-15: Stažení poruchového záznamu</i> .....	41
<i>Obr. 5-16: Napěťové výstupy [15]</i> .....	41
<i>Obr. 5-17: Proudové výstupy [15]</i> .....	42
<i>Obr. 5-18: Binární vstupy [15]</i> .....	42
<i>Obr. 6-1: Simulovaná síť</i> .....	45
<i>Obr. 6-2: Simulovaný vývod Kasejovice [22]</i> .....	46
<i>Obr. 6-3: Průběhy napětí při ZS (simulovaná síť, <math>0,1 \Omega</math>)</i> .....	48
<i>Obr. 6-4: Průběhy napětí při ZS (diplomová práce [22], <math>0 \Omega</math>)</i> .....	48

---

<i>Obr. 6-5: Průběhy proudů při ZS (simulovaná síť 0,1 <math>\Omega</math>).....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 6-6: Průběhy proudů při ZS (diplomová práce [22], 0 <math>\Omega</math>) .....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 6-7: Porovnání ZS s rozdílnou velikostí odporu poruchy (simulovaná síť).....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 6-8: Porovnání ZS s rozdílnou velikostí odporu poruchy (diplomová práce [22]) .....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 6-9: Porovnání poruchového záznamu z Transient Ground Fault a Advanced TransPlay...51</i>	
<i>Obr. 6-10: Průběh netočivé složky napětí a proudu s ochranou na vývodu A.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 6-11: Průběh netočivé složky napětí a proudu s ochranou na vývodu B.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 6-12: Netočivá složka napětí a proudu při uzlu směrem do přípojníc.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 6-13: Netočivá složka napětí a proudu při uzlu směrem do vedení.....</i>	<i>52</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 5-1: Příklady ochranných funkcí terminálu REM 543 [18]</i> .....	35
<i>Tab. 5-2: Příklady měřících funkcí terminálu REM 543 [18]</i> .....	36
<i>Tab. 5-3: Příklady řídicích funkcí terminálu REM 543 [18]</i> .....	36
<i>Tab. 5-4: Hodnoty konstant určující sklon charakteristiky [12]</i> .....	37
<i>Tab. 6-1: Nastavené parametry ochranné funkce DEF2</i> .....	44
<i>Tab. 6-2: Nastavené parametry ochranné funkce NEF2</i> .....	44
<i>Tab. 6-3: Nastavené parametry měřící funkce MEDREC16</i> .....	44
<i>Tab. 6-4: Parametry testu</i> .....	45
<i>Tab. 6-5: Parametry transformátoru</i> .....	45
<i>Tab. 6-6: Parametry vedení</i> .....	46
<i>Tab. 6-7: Obecné parametry</i> .....	47

**SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$\alpha$	konstanta určující sklon IDMT	
$\beta$	konstanta určující sklon IDMT	
$\Delta\varphi$	operační sektor	(°)
$\varphi$	fázový posun	(°)
$\varphi_b$	základní úhel	(°)
$\omega$	úhlová rychlost	(rad . s <sup>-1</sup> )
$C_{a\_N}, C_{b\_N}, C_{c\_N}$	kapacity jednotlivých fází nepostiženého vedení	(F)
$C_{a\_P}, C_{b\_P}, C_{c\_P}$	kapacity jednotlivých fází postiženého vedení	(F)
$C_{SOU}$	celková kapacita soustavy	(F)
f	frekvence	(Hz)
$G_{a\_N}, G_{b\_N}, G_{c\_N}$	konduktance jednotlivých fází nepostiženého vedení	(S)
$G_{a\_P}, G_{b\_P}, G_{c\_P}$	konduktance jednotlivých fází postiženého vedení	(S)
$G_{SOU}$	celková konduktance soustavy	(S)
$G_{TL}$	konduktance tlumivky	(S)
$\bar{I}_0$	netočivá složka proudu	(A)
$I_{0B}, I_{0C}$	netočivá složka proudu fází B a C	(A)
$I_{(0)sit\_zad}$	zadaný kapacitní proud celé sítě	(A)
$I_{(0)sit\_vyp}$	vypočítaný kapacitní proud celé sítě	(A)
$I_{(0)vyvodA\_vyp}$	vypočítaný kapacitní proud vývodu A	(A)
$I_{(0)vyvodA\_prep}$	přepočítaný kapacitní proud vývodu A	(A)
$I_{(0)vyvodB\_vyp}$	vypočítaný kapacitní proud vývodu B	(A)
$I_{(0)vyvodB\_prep}$	přepočítaný kapacitní proud vývodu B	(A)
$\bar{I}_{a\_C}, \bar{I}_{b\_C}, \bar{I}_{c\_C}$	kapacitní proud jednotlivých fází	(A)
$\bar{I}_{a\_G}, \bar{I}_{b\_G}, \bar{I}_{c\_G}$	svodový proud jednotlivých fází	(A)
$\bar{I}_C$	kapacitní proud	(A)
$\bar{I}_{f\_C}$	celkový kapacitní proud soustavy	(A)
$\bar{I}_L$	proud tlumivkou	(A)
$\bar{I}_{L\_G}$	činný proud tlumivky	(A)
$I_n$	jmenovitý proud	(A)
$\bar{I}_{N\_C}$	celkový kapacitní proud nepostižených fází	(A)
$\bar{I}_{N\_G}$	celkový svodový proud nepostižených fází	(A)
$I_P$	poruchový proud	(A)

$\bar{I}_{P(\text{kap})}$	poruchový kapacitní proud	(A)
$\bar{I}_{P\_C}$	celkový kapacitní proud postižených fází	(A)
$\bar{I}_{P\_G}$	celkový svodový proud postižených fází	(A)
$I_{\text{rest}}$	zbytkový proud	(A)
$\bar{I}_R$	činný proud	(A)
$I_S$	popudový proud	(A)
$j$	označení imaginární části veličiny	
$k$	nastavitelný násobek času u IDMT	
nn	nízké napětí	(V)
PTP	přístrojový transformátor proudu	
PTN	přístrojový transformátor napětí	
$R_{(0)}$	nulová rezistence	( $\Omega$ )
$R_{(1)}$	sousledná rezistence	( $\Omega$ )
$R_P$	přechodový odpor	( $\Omega$ )
$R_{SH}$	odpor přizemnění	( $\Omega$ )
$U_n$	jmenovité napětí	(V)
$U_{0\text{rez}}$	napětí při rezonanci	(V)
$\bar{U}_A, \bar{U}_B, \bar{U}_C$	fázory napětí fází A, B, C	(V)
$\bar{U}_{A0}, \bar{U}_{A1}, \bar{U}_{A2}$	netočivá, sousledná, a zpětná složka napětí	(V)
$\bar{U}_0$	netočivá složka napětí	(V)
vn	vysoké napětí	(kV)
vvv	velmi vysoké napětí	(kV)
$X_{(0)}$	nulová reaktance	( $\Omega$ )
$X_{(1)}$	sousledná reaktance	( $\Omega$ )
$X_{TL}$	reaktance tlumivky	( $\Omega$ )
$\bar{Y}_0$	netočivá admitance	(S)
ZP	zkušební přístroj	
ZS	zemní spojení	
$\bar{Z}_{(0)}, \bar{Z}_{(1)}, \bar{Z}_{(2)}$	netočivá, sousledná a zpětná složka impedance	( $\Omega$ )

# 1 ÚVOD

Mezi nejčastěji vzniklou poruchou na venkovním vedení bezpodmínečně patří jednofázové zemní spojení, které je v mnoha případech i na počátcích rozsáhlejších poruch. To je důvod, proč je velice důležité zabývat se touto poruchou a chránit vedení i osoby před jejími účinky.

Kvůli velkému požadavku na nepřerušovanou dodávku elektrické energie používáme v distribučních vysokonapětových soustavách převážně kompenzované sítě. Tyto kompenzované sítě mohou být provozovány i se zemním spojením, čímž se vyloučí případy neselektivního vypínání části vedení. Díky zhášecí tlumivce zapojené v uzlu transformátoru dojde v případě zemního spojení k omezení poruchového proudu. Tím se omezí riziko úrazu dotykovým či krokovým napětím a přejde se zbytečným materiálním škodám.

Avšak i přesto je důležité v co nejkratším čase poruchu vyhledat a odstranit. K tomu nám slouží směrová zemní ochrana, která měří a vyhodnocuje vzniklou netočivou složku napětí a proudu. Tato ochrana potom tuto netočivou složku napětí a proudu vyhodnotí a podle toho označí vývod postižený zemním spojením. Směrovou i nesměrovou ochrannou funkci obsahují ochrany řady RE\_ 54\_, vyráběné společností ABB. V této bakalářské práci je pro testování vybrán terminál točivého stroje REM 543, na kterém se modelovaly poruchy a přehrávaly poruchové záznamy pomocí simulátoru poruch OMICRON CMC 256+.



## 2 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA

Hlavním pilířem naší elektrizační soustavy je přenosová (nadřazená) soustava o napětové hladině 400, 220 a vybrané vedení 110 kV, do které jsou vyvedeny největší tuzemské zdroje elektrické energie. Na tuto přenosovou soustavu navazuje distribuční soustava, která má za úkol dovést elektrickou energii ke konečným velkoodběratelům a maloodběratelům. Distribuční soustavu lze podle napětových úrovní rozdělit na vvn (110 kV), vn (35, 22, 10, 6 kV) a na nn (400/230 V).

Tato práce je zaměřena na distribuční soustavu vn o napětové hladině 22 kV resp. 35 kV, která je ve většině případů provozována jako síť kompenzovaná. Jako nejčastější druh rozvodu sítě vn používáme paprskový případně průběžný rozvod, to umožňuje v hustě obydlených aglomeracích propojení do dvojpaprskového nebo okružního rozvodu [1].

### 2.1 Volba způsobu uzemnění uzlu transformátoru pro vn provoz

Nejvhodnějšího způsob uzemnění uzlu transformátoru se volí podle těchto základních kritérií [1]:

- celkový kapacitní proud soustavy a proud při ZS
- ustálená poruchová napětí
- přepětí při vzniku a přerušení jednopólové poruchy (rychlost zotavení vn systému)
- ferorezonanční přepětí
- způsob likvidace poruchy
- investiční a provozní náklady
- ovlivnění pomocných obvodů
- možnost dosažení maximální citlivosti ochran
- bezpečnost provozu

### 2.2 Způsoby uzemnění uzlu transformátoru

Způsob uzemnění uzlu transformátoru, někdy také nazývaný jako nulový bod transformátoru, je jedním ze základních technicko-ekonomických charakterů dané sítě. Určuje nám také možnosti provozu sítě z hlediska bezpečnosti, chránění, dimenzování či nepřetržitosti dodávky. Při provozování bezporuchové, tj. symetrické sítě, nemá způsob uzemnění uzlu transformátoru na danou síť žádný vliv. Zvolená metoda spojení uzlu transformátoru se zemí má zásadní význam až při nesymetrickém stavu, nejčastěji tomu bývá jednofázová zemní porucha, která má především vliv na:

- velikost poruchového proudu
- velikost napětí zdravých fází vůči zemi
- velikost napětí uzlu transformátoru vůči zemi

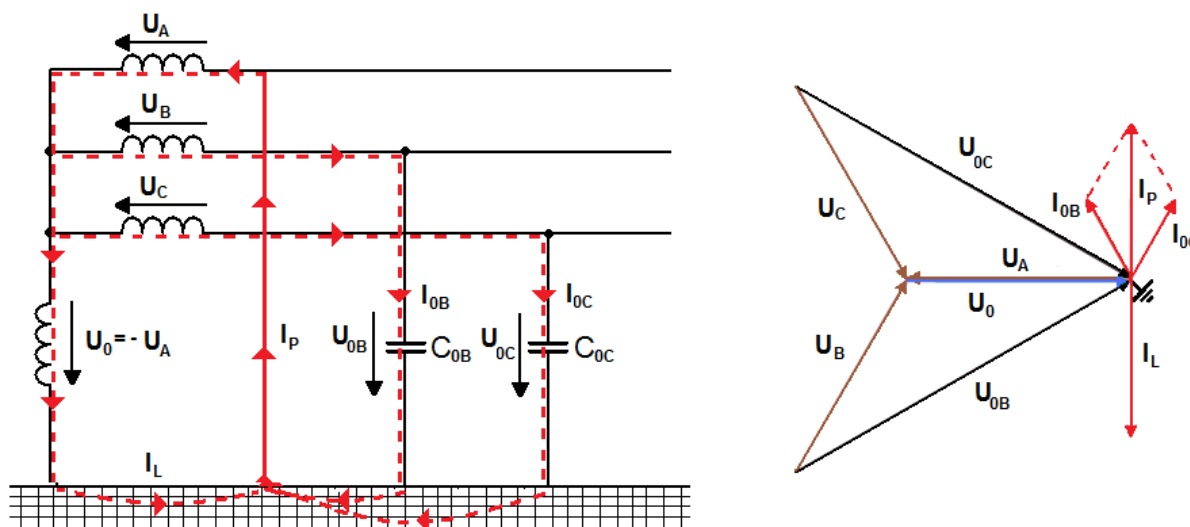
Při bezporuchovém (souměrném) provozu sítě neteče zemí proud. Napětí jednotlivých fází vůči uzlu transformátoru je fázové a napětí mezi fázemi je sdružené. Tento stav se mění při spojení jedné nebo více fází se zemí. Jak už bylo řečeno pro posouzení jednotlivých druhů

zapojení je nejdůležitější jednofázový zemní spojení a z toho ohledu rozeznáváme soustavy [1], [2]:

- účinně uzemněné (nepoužívají se ve vn soustavách)
- izolované
- nepřímě uzemněné přes rezistenci
- nepřímě uzemněné přes zhášecí tlumivku

### 2.2.1 Kompenzované soustavy

Tyto soustavy mají uzel transformátoru uzemněný přes zhášecí ladící tlumivku (Petersenovu cívku). To nám při zemním spojení umožňuje kompenzovat kapacitní poruchový proud. Vznik zemního spojení způsobí mezi uzlem transformátoru a zemí fázové napětí soustavy, které je v kompenzovaných soustavách na zhášecí tlumivce. Díky tomu zhášecí tlumivka generuje indukční kompenzační proud. Velikost indukčního proudu  $I_L$  se nastavuje laděním tlumivky do velikosti kapacitního proudu tekoucího místem poruchy  $I_P$ , potom teče místem poruchy zbytkový tzv. reziduální proud. Zbytkový proud bývá nejčastěji 3 – 10 % z celkového kapacitního proudu sítě, což přináší problém se zjišťováním místa poruchy. Poruchový proud je činného charakteru, způsoben svodovým odporem sítě a odporem tlumivky. Použití tohoto způsobu uzemnění uzlu transformátoru je však omezeno kapacitním proudem chráněné soustavy, který smí být podle normy [9] nejvýše do 100 A u venkovních sítí, do 300 A u smíšených sítí a do 450 A u kabelových sítí. Kompenzovaná síť s rozložením proudů a fázorovým diagramem při zemní poruše je zobrazena na Obr. 2-1 [1], [2].



Obr. 2-1: Kompenzovaná síť [1]

### 3 ZEMNÍ SPOJENÍ

Chování soustavy při zemní poruše je ovlivněno způsobem uzemnění uzlu transformátoru se zemí. Je-li uzel transformátoru zapojen jako izolovaný nebo kompenzovaný přes tlumivku a zároveň nastane v soustavě spojení jedné fáze se zemí, porucha se nazývá zemním spojením (ZS). Nejčastější vznik zemního spojení bývá vyvolán pádem přetrženého vodiče, přeskokem na izolátoru nebo průrazem pevné izolace. Jak je uvedeno v [5], 80 % až 90 % všech poruch začínají jako jednopólové. Z toho důvodu je znalost tohoto jednopólového zemního spojení nejdůležitější. Avšak jednopólové zemní spojení v soustavě s účinně uzemněným uzlem nebo uzemněným přes velkou rezistenci se stejně jako vícefázové zemní spojení nazývá zemním zkratem [3].

Druhy zemních spojení se dělí podle:

- velikosti přechodového odporu ( $R_p$ ) v místě ZS
  - o kovová ( $R_p = 0 \Omega$ )
  - o oblouková ( $R_p = \text{několik } \Omega$ )
  - o odporová ( $R_p = \text{několik set } \Omega$ )
- doby trvání ZS
  - o mžiková (do 0,5 s)
  - o krátkodobá (do 5 min)
  - o přerušovaná (opakující se mžiková nebo krátkodobá ZS, problémy s vyhledáním)
  - o trvalá (do odstranění poruchy, několik hodin)

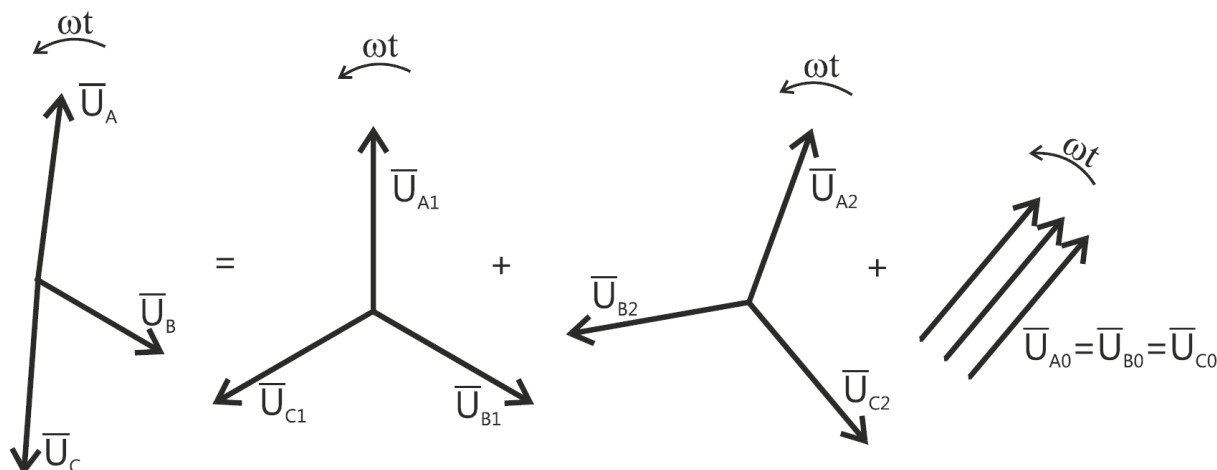
Podle zatěžování 3f zdrojů rozeznáváme zkratky:

- souměrné:
  - o 3 fázové
  - o 3 fázové zemní
- nesouměrné:
  - o 1 fázové
  - o 2 fázové
  - o 2 fázové zemní

Jak už bylo řečeno, z hlediska venkovní vn soustavy je nejdůležitější nesouměrný jednofázový zemní zkrat, který řešíme pomocí metody souměrných složek [6].

#### 3.1 Metoda souměrných složek

Jak je uvedeno v [1], nejčastěji v síti dochází k jednofázovému zkratu, který je stejně jako dvoufázový a dvoufázový zemní zkrat nesouměrného charakteru. To znamená, že se všechny fáze nepodílí stejnou mírou na velikosti poruchového proudu. Z toho důvodu se pro analýzu nesouměrných zkratů využívá rozkladu proudů a napětí na jednoduché souměrné složky, které se podle zákona superpozice opět složí do celkového nesouměrného děje. Prakticky se to provádí tak, že trojfázovou nesymetrickou soustavu nahradíme symetrickými fázory sousledné (označené 1), zpětné (2) a netočivé soustavy (0), viz Obr. 3-1.



Obr. 3-1: Náhrada nesymetrického fázoru symetrickými [1]

### 3.2 Zemní spojení v kompenzované distribuční síti

Jak již bylo řečeno, síť uzemněné přes zhašecí tlumivku při nesouměrném stavu kompenzují velikost poruchového proudu na zbytkový poruchový proud. Tento druh zapojení uzlu transformátoru je nejvíce rozšířený u vn sítí. Předností je, že lze soustavu nadále provozovat a tento poruchový stav nemá žádný vliv na konečné odběratele [1].

#### 3.2.1 Charakteristiky ZS v kompenzované síti

Velikosti proudů a napětí v soustavě se zemním spojení jsou z velké části ovlivněny následujícími charakteristikami, které jsou uvedené v literatuře [1]:

1. Doba trvání poruchy, které rozlišujeme:

- Velmi krátká (mžiková) porucha
- Krátkodobá porucha
- Trvalá porucha
- Přerušovaná porucha (v krátkém čase opakující mžiková porucha)

2. Velikost odporu poruchy

Zemní spojení s nejmenším přechodovým odporem v rozmezí několika jednotek ohmů se nazývá kovové zemní spojení. Tato porucha vzhledem k velikosti přechodového odporu může vzniknout jen v místech s dobrým uzemněním, tím mohou být spínací či distribuční stanice. Při kovovém zemním spojení dosahuje poruchový proud vysoké úrovně a má velmi malé tlumící vlastnosti transientního jevu, to má však výhodu v bezproblémové detekci poruchy.

Nejčastějším typem zemního spojení u venkovních distribučních sítí je odporové ZS, v tom případě dosahuje přechodový odpor několika stovek až tisíců ohmů, přičemž jako vysokoodporové ZS považujeme přechodový odpor větší jak 1 k $\Omega$ . Při odporovém zemním spojení je obvykle místo poruchy obtížně dohledatelné, což je způsobeno tlumením transientních jevů a omezením poruchového proudu společně s netočivou složkou napětí. Navíc poruchy s přechodovým odporem několik tisíc ohmů jsou kvůli špatné odlišitelnosti od nesymetrie soustavy špatně zaznamenatelné.

Často také bývá zemní spojení způsobeno hořícím obloukem, v tom případě je přechodový odpor v místě zemního spojení tvořen převážně odporem oblouku. U tohoto druhu zemního spojení je charakteristické přerušované hoření oblouku, které je následkem krátkodobých přepětí a proudových vybíjecích špiček.

### 3. Podíl vyšších harmonických v poruchovém proudu

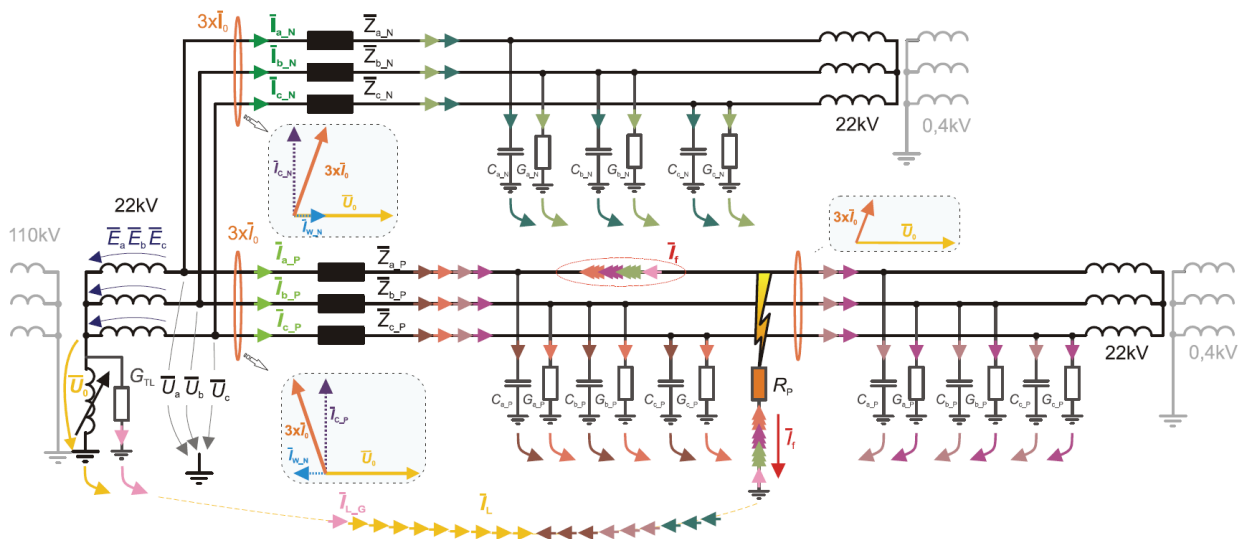
Zhášecí tlumivka je obvykle naladěna do rezonance, tak aby kompenzovala základní harmonickou, nicméně násobky základní harmonické mohou dosahovat vyšší úrovně, než je zbytkový reziduální proud základní harmonické. Významný podíl 3., 5. a 7. harmonické je především v hustých městských a průmyslových distribučních sítích. Potom místem poruchy i po vykompenzování teče velký proud.

### 4. Fázový posun postižené fáze v okamžiku vzniku poruchy

Úroveň vybíjecího proudu při počátku zemního spojení je také určena okamžikem vzniku poruchy vzhledem k fázovému posunu napětí postižené fáze. Jak je uvedeno v [1], zhruba v 70 % případů vzniká porucha v okolí maxima, tj. v rozmezí úhlů  $60^\circ - 120^\circ$ .

## 3.2.2 Poměry $U$ a $I$ na postiženém a nepostiženém vývodu při ZS

Pro vyhodnocení postiženého vývodu či směru poruchy je potřeba znát poměr netočivé složky napětí a proudu v jednotlivých stacionárních stavech trvajících zemního spojení. Rozložení napětí a proudů v soustavě s postiženým a nepostiženým vývodem, jak je znázorněno na Obr. 3-2, je uvedeno z literatury [1].



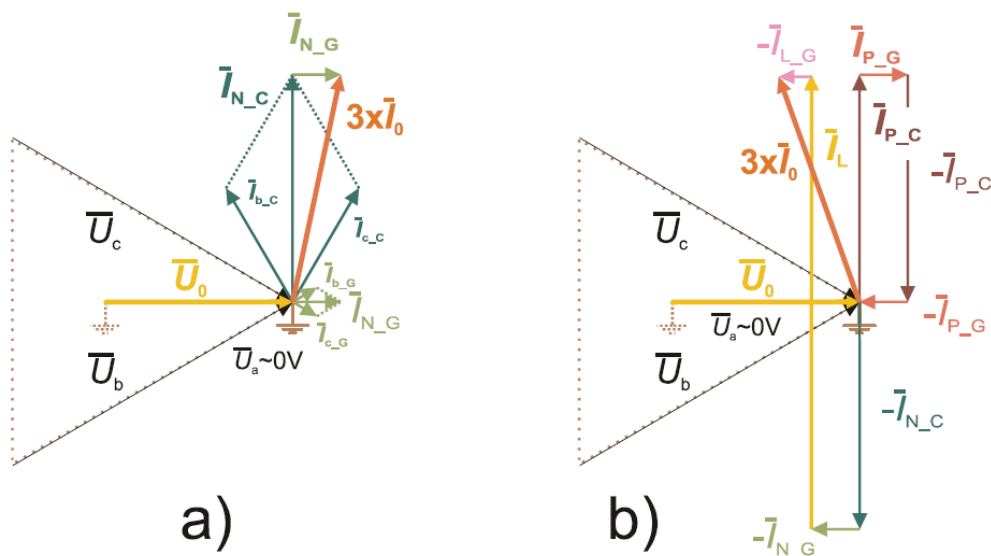
Obr. 3-2: Rozložení napětí a proudů při jednofázovém zemním spojení [1]

V bezporuchovém stavu při uvažování ideální symetrie fázových napětí je součet všech proudů procházejících přes příčné admitance roven nule. Vznik zemního spojení se projeví napětovou nesymetrií, která způsobí, že fázorový součet svodových i kapacitních proudů je roven poruchovému proudu. Pokud je splněna podmínka rezonance  $\bar{I}_L = \bar{I}_{LC}$ , tak bude kompenzační proud  $\bar{I}_L$  roven součtu proudů, které procházejí kapacitami jednotlivých fází celého systému ( $C_{a_N}, C_{b_N}, C_{c_N}, C_{a_P}, C_{b_P}, C_{c_P}$ ). V tom případě je poruchový proud složen pouze z činné složky, tzn. ze součtu proudů procházejících přes svody celé soustavy

( $G_{a_N}, G_{b_N}, G_{c_N}, G_{a_P}, G_{b_P}, G_{c_P}$ ) a konduktanci tlumivky  $G_{TL}$ . Při uvažování kovového zemního spojení se mohou svodové a kapacitní proudy postižené fáze zanedbat.

Pro vyhodnocení zemní poruchy je podstatné měřit na všech vývodech z rozvodny netočivou složku napětí  $U_0$  a součtovými transformátory netočivou složku proudu  $3x\bar{I}_0$ . Fázorový diagram pro nepostižený vývod je na Obr. 3-3 a), tento vývod je zatížen pouze kapacitním proudem ( $\bar{I}_{b_C}, \bar{I}_{c_C}$ ) a svodovým proudem ( $\bar{I}_{b_G}, \bar{I}_{c_G}$ ) uzavírající se v nepostižených fázích. Potom lze netočivou složku proudu  $3x\bar{I}_0$  vyjádřit součtem celkového kapacitního proudu  $\bar{I}_{N_C}$  a svodového proudu  $\bar{I}_{N_G}$  odebíraných nepostiženým vedením. V diagramech na Obr. 3-2 je vidět, že fázový posun mezi netočivou složkou napětí a proudu u nepostiženého vývodu se neliší od fázového posunu na úseku za poruchou.

Jinak tomu bude při měření fázového posunu mezi netočivou složkou napětí a proudu na postiženém vývodu. Na Obr. 3-3 b) je postižený vývod, z kterého je odebírána kapacitní proud  $\bar{I}_{P_C}$  a svodový proud  $\bar{I}_{P_G}$ . Protože dochází ke kompenzaci celkového poruchového kapacitního proudu kompenzačním proudem  $\bar{I}_L$ , je netočivá složka proudu  $3x\bar{I}_0$  určena součtem kapacitního proudu postiženého vývodu  $\bar{I}_{P_C}$ , svodovým proudem nepostiženého vývodu  $\bar{I}_{N_G}$  a ztrátovým činným proudem tlumivky  $\bar{I}_{L_G}$  měřeným v opačném směru.

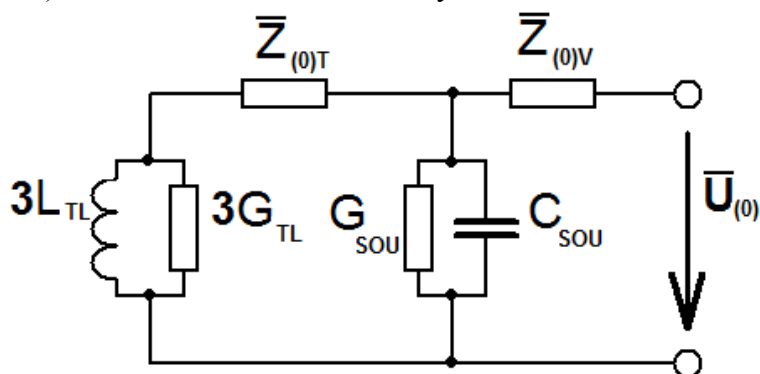


Obr. 3-3: Fázorový diagram pro a) nepostižený a za b) postižený vývod při ZS [1]

Pro indikaci postiženého vývodu nelze využít jalovou složku netočivého proudu, protože je závislá na délce postiženého i nepostiženého vedení. Nicméně činná složka je u postiženého vývodu závislá na svodovém proudu všech nepostižených vývodů a nepostižený vývod pouze na svém vlastním svodovém proudu. Jelikož je z napájecí rozvodny vyvedeno více nepostižených vývodů, lze použít pro určení postiženého vývodu metody porovnávání činných složek netočivého proudu.

### 3.3 Kompenzace a poruchový proud

Při vzniku ZS začne automatika nastavovat zhášecí tlumivku do paralelní rezonance s celkovou kapacitou provozované soustavy a tím se sníží poruchový proud na zbytkový reziduální. V naší distribuční soustavě se používá centralizovaná kompenzace, to znamená, že je použita jen jedna tlumivka zapojená mezi uzlem sekundární strany transformátoru (nejčastěji transformátor 110 kV/vn) a zemnicí soustavou rozvodny.



Obr. 3-4: Netočivé schéma kompenzované soustavy [1]

U soustavy uzemněné přes zhášecí tlumivku lze netočivou složku nahradit schématem podle Obr. 3-4. V náhradním schématu se impedance v uzlu transformátoru skládá ze zhášecí tlumivky  $L$  a paralelně připojené vodivosti  $G_{TL}$ , která znázorňuje činné ztráty na tlumivce. Příčná impedance se skládá z celkové kapacity soustavy  $C_{SOU}$  a celkového svodu soustavy  $G_{SOU}$ . Vzhledem k nepatrnému procházejícímu nulovému proudu, lze ve schématu zanedbat impedanci transformátoru a vedení. Jestliže předpokládáme kovové zemní spojení ( $R_p = 0 \Omega$ ) a ideálně kompenzovaný stav, můžeme poruchový proud vyjádřit [1]:

$$\bar{I}_P = 3\bar{U} \left( G_{SOU} + 3G_{TL} + j \left( \omega C_{SOU} - \frac{1}{3\omega L} \right) \right) = I_R + j(I_C - I_L). \quad (3.7)$$

Vykompenzováním poruchového proudu se minimalizuje ohrožení osob dotykovým nebo krokovým napětím a maximalizuje se schopnost samozhášení poruchového oblouku.

Kompenzační proud procházející tlumivkou při kovovém ZS můžeme vyjádřit jako

$$\bar{I}_L = -\frac{U_0}{jX_{TL}} = -\frac{jU}{X_{TL}} = -\frac{jU_n}{\sqrt{3}X_{TL}} \quad (3.8)$$

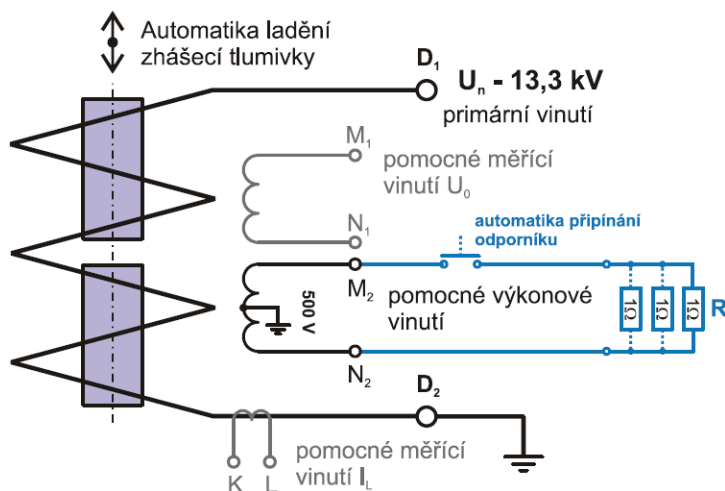
a kapacitní poruchový proud jako

$$\bar{I}_{P(kap)} = j\sqrt{3}U_n \omega C_{SOU}. \quad (3.9)$$

#### 3.3.1 Zhášecí tlumivka

Tato tlumivka se připojuje k uzlu distribuční sítě, generátoru nebo kompenzační tlumivce. V případě, že v síti není vyveden nulový bod (sekundární vinutí transformátoru spojené do trojúhelníka), používají se speciální zemnicí transformátory a tlumivky, pomocí kterých vytvoříme umělý nulový bod. Pro správné nastavení zhášecí tlumivky do rezonance se ve venkovních nebo smíšených sítích s transformátorem 110 kV/vn a kapacitním proudem větším jak 50 A zajišťuje také automatická regulace pomocí elektrických pohonů s možností manuální regulace proudu tlumivkou. Kromě toho je potřeba vyvést ze zhášecí tlumivky měřicí vinutí pro

měření napětí a proudu na tlumivce a k rychlému vyhledání poruchy také zajistit automatiku přepínání odporníků pro navýšení činné složky poruchového proudu [7].



Obr. 3-5: Zjednodušené schéma automatiky ladění zhášecí tlumivky [1]

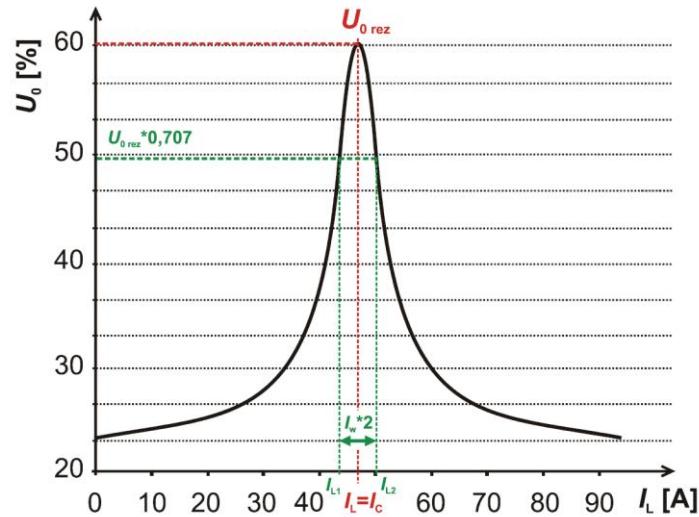
Na Obr. 3-5 je zjednodušené schéma běžně používané zhášecí tlumivky. Znázorněná tlumivka se skládá z hlavního primárního vinutí  $D_1D_2$ . Pomocné měřicí vinutí  $KL$  slouží pro připojení PTP, který měří velikosti induktivního proudu  $I_L$  a svorky  $M_1N_1$  sloužící pro připojení měřícího transformátoru napětí, který měří netočivou složku napětí  $U_0$ . Výkonové vinutí  $M_2N_2$  je určeno pro připojení pomocných odporníků a tím krátkodobého zvýšení činné složky poruchového proudu. Nejčastěji je odporník složený z několika odporových článků, které se zapojují pomocí stykačů na potřebnou velikost na základě změřených parametrů soustavy [1], [8].

### 3.3.1.1 Ladění a funkce tlumivky

Pro správné kompenzování kapacitního proudu je potřeba znát rezonanční křivku soustavy Obr. 3-6. Rezananční křivka je závislost netočivé složky napětí  $U_0$  na (kompenzačním) proudu  $I_L$  procházející tlumivkou. Pomocí této křivky pak můžeme zjistit velikost kapacitního proudu  $I_C$  provozované soustavy, která se v místě napětí  $U_{0rez}$  rovná kompenzačnímu proudu  $I_L$ .

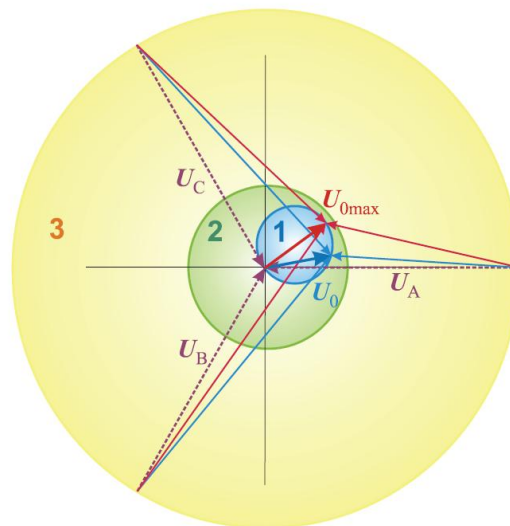
Při vzniku ZS potom pomocí automatiky ladění tlumivky snižujeme poruchový proud  $I_p$  na minimum, kde je uzlové napětí  $U_0$  maximální. Aby se omezilo častým ladění tlumivky a tím přechodných změn napětí  $U_0$ , např. při přepínání odboček vedení, automatika má nastavené časové zpoždění pro svůj podnět k působení [1].





Obr. 3-6: Příklad rezonanční křivky [1]

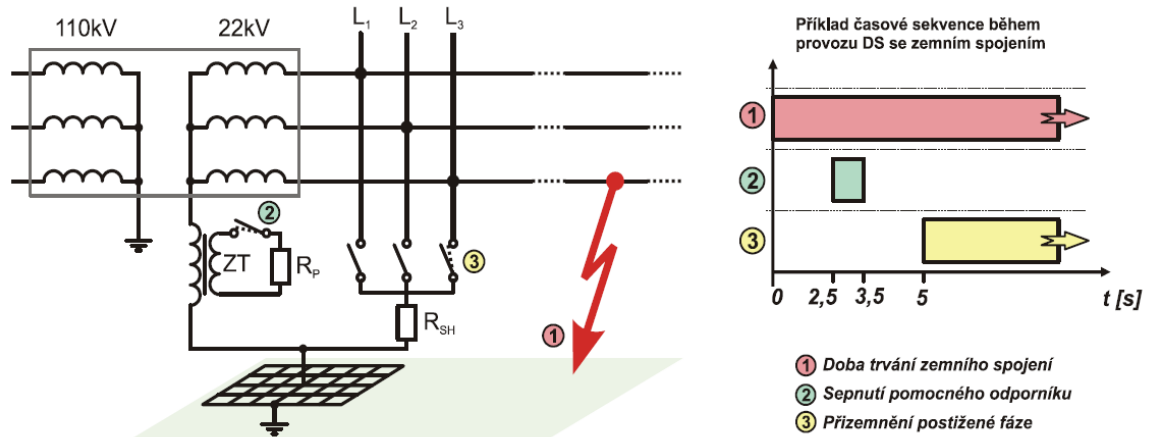
Při ZS se mění poměrné parametry sítě a tím také poloha vektoru  $\bar{U}_0$  v komplexní rovině. Na Obr. 3-7 jsou zobrazeny dva různé vektory napětí, maximální napětí  $\bar{U}_{0\max}$  odpovídá vyladěnému stavu soustavy a vektor  $\bar{U}_0$  odpovídá napětí při malých změnách poměrných parametrů způsobené nesymetrií. Kolísání  $\bar{U}_0$  v oblasti 1 nezpůsobí spuštění automatiky ladění zhášecí tlumivky, ta se spustí až v případě, že  $\bar{U}_0$  dosáhne oblasti 2. To se děje při větších změnách parametrů sítě, které jsou způsobené změnou konfigurace nebo rozsahu sítě. Jestliže naměříme napětí  $\bar{U}_0$  v oblasti 3 komplexní roviny, potom se již obvykle jedná o zemní spojení [1].

Obr. 3-7: Zobrazení oblastí  $U_0$  v komplexní rovině [1]

### 3.3.1.2 Připínáním odporníku a přizemnění postižené fáze

Na Obr. 3-8 je zapojení rozvodny 110/22 kV, která využívá automatiku připínání pomocného odporníku a automatiku přizemnění postižené fáze. Připnutím pomocného odporníku  $R_p$  zajistíme navýšení konduktance tlumivky a tím zvýšení činné složky poruchového proudu, díky které snáze detekujeme postižený vývod. Pro omezení tepelných účinků a krokového či

dotykového napětí naopak využíváme přizemnění postižené fáze přes odpor  $R_{SH}$ , přes který dojde k vytvoření paralelní cesty poruchového proudu. Pro správnou funkci však musí být odpor v uměle vytvořeném spojení menší než v místě zemního spojení, čímž dojde k přenesení poruchového proudu do místa přizemnění v napájecí rozvodně [1].



Obr. 3-8: Zapojení a časové působení pomocného odporníku s přizemněním postižené fáze [1]

### 3.3.1.3 Opětovné zapínání

V [11] je uvedeno, že 75 – 95 % všech poruch odpovídá přechodným poruchám, proto se i ve vn vedeních využívá automatiky opětovného zapínání, která má za cíl předcházet zbytečnému odpojování při vzniku přechodné poruchy. Funkcí automatiky je, že při zjištění zemního spojení ihned vypíná na krátkou dobu postižený vývod (obvykle na desetiny sekund) a po opětovném zapnutí se předpokládá zmizení poruchy. Jinak je porucha označena jako trvalá a dojde k definitivnímu odpojení.

## 4 OBECNĚ OCHRANY

Ochrana zajišťuje provozní bezpečnost a spolehlivost určité části energetického systému i přesto, že porucha v síti vzniká nahodile. U většiny případů je chránění tvořeno několika ochranami, z nichž každá působí na jiný popud.

### 4.1 Třídění ochran

Elektrické ochrany můžeme třídit podle následujících hledisek [10]:

1. Podle chráněného objektu – druh vedení, transformátor, generátor, přípojnice, ...
2. Podle druhu poruchy – při zemním spojení, při nesouměrnosti, napěťová, kmitočtová, ...
3. Podle měřené veličiny – proudová, wattová, impedanční, napěťová, jalová, ...
4. Podle doby působení – mžiková, časově závislá, časově nezávislá.
5. Podle konstrukce – elektromechanické, elektronické, digitální.

### 4.2 Základní požadavky na ochrany

Základní funkční požadavky, které požadujeme od ochrany, můžeme rozdělit následovně [10]:

- **Selektivita** je požadavek na ochranu, aby vypínala pouze tu část vedení, ve které je porucha. Pokud tato základní ochrana selže, zapůsobí s časovým zpožděním záložní ochrana.
- **Rychlost** působení ochrany je důležitá především při zkratech, kde poruchové proudy způsobují velké tepelné a silové účinky.
- **Spolehlivost** ochrany musí být vysoká, protože její vybavení může být jen jednou za několik let. Dalším souvisejícím požadavkem je její případná odolnost vůči ztíženému prostředí.
- **Citlivost** ochrany znamená, že jednoznačně rozpozná poruchu uvnitř chráněného objektu od poruchy mimo něj.

### 4.3 Ochrany při zemním spojení

Jak pro hlášení vzniku zemního spojení, tak i k učení místa poruchy hojně využíváme zemních relé. V kompenzovaných sítích využíváme dva druhy relé:

- a) napěťové relé - pro signalizaci zemního spojení
- b) směrové wattové relé - pro určení postiženého vývodu

O vzniku zemního spojení nám v kompenzovaných vn sítích dává vědět napěťové relé, které je připojeno na sekundární straně otevřeného trojúhelníku PTN a reaguje na zvýšení netočivé složky napětí  $3x\bar{U}_0$ . Nicméně napěťové relé také může být zapojeno na vyvedeném pomocném měřícím vinutí automatiky zhášecí tlumivky. Těmito způsoby zapojení napěťových relé získáváme informaci o vzniku zemního spojení, avšak nezískáme přesnou informaci, o který vývod se jedná.

Konkrétní vývod a část vedení se zemním spojením můžeme nejjednodušeji určit metodou postupného vypínání, dokud zemní spojení nezmizí. Jestliže ale chceme soustavu provozovat

selektivně, nebo nemáme možnost manipulovat se soustavou, k určení vývodu a místa se zemním spojením využijeme směru poruchového proudu, který vyhodnotíme na základě:

- a) výkonu v poruchovém stavu,
- b) fázového úhlu mezi napětím a proudem.

V prvním případě a) jsou na každém vývodu soustavy zapojeny tři součtové PTP a wattové relé, které měří také netočivou složku napětí, vyhodnocuje součin  $U_0 I_0 \cos \varphi_0$ . Vyhodnocení vývodu s poruchou provádíme na základě faktu, že nulová složka zemního proudu u nepostiženého vedení teče směrem do přípojníc, kdežto u postiženého vedení ven z přípojníc. Místo se zemním spojením se vymezi vybavením jednotlivých wattových relé, kdy v případě radiální sítě vybaví relé, které je nejdále v proudové cestě mezi tlumivkou a zemním spojením. V případě dokonalé kompenzace je tlumivka naladěna do stavu rezonance, takže místem zemního spojení protéká pouze zbytkový proud. Z toho důvodu musí být měřící wattové relé velmi citlivé [10], [11].

Při zjišťování místa zemního spojení prostřednictvím b) fázového úhlu mezi napětím a proudem vycházíme z předpokladu, že v případě nepostiženého vývodu nebo měřením za místem poruchy (od zdroje) je netočivá složka proudu, vzhledem k fázovému posunu vůči netočivé složce napětí v I. kvadrantu, zatímco u postiženého vývodu je ve II. kvadrantu (viz Obr. 3-3) [1].

## 4.4 Prostředky pro indikaci a lokalizaci poruchy

Tyto prostředky jsou popsány v literatuře [1], kde je dělíme podle toho, jestli jsou určeny pro indikaci postiženého vývodu nebo pro lokalizaci konkrétního místa zemního spojení, které bývá zpravidla náročnější.

### 4.4.1 Indikace postiženého vývodu

Z důvodu možnosti opakování vyhodnocení postiženého vývodu používáme převážně statické metody, u kterých je možné vyhodnocení opakovat do té doby, než dojde k jednoznačnému určení postiženého úseku. Mezi nejstarší způsob určování postiženého vývodu patří postupné odpínání jednotlivých vývodů z rozvodny až do doby, kdy dojde k odpojení poruchy. Ačkoli je tento způsob určení postiženého vývodu velice spolehlivý, obnáší značnou nevýhodu ve složité manipulaci či nutném krátkodobém přerušení dodávky v postižené soustavě. Z těchto důvodů byl tento způsob nahrazen převážně digitálními ochranami. Nastavením téměř jakéhokoliv tvaru pracovní charakteristiky digitální ochrany docílíme maximální citlivosti a spolehlivosti oproti elektromechanickým ochranám. V poslední době také došlo k rozšíření automatik, které v sobě zahrnují jak prostředek pro detekci postiženého vývodu, tak pro kompenzaci poruchového proudu a následnou lokalizaci místa poruchy.

### 4.4.2 Lokalizace poruchy

Aby došlo k rychlé lokalizaci místa poruchy, je potřeba napřed určit postižený vývod, na který budeme orientovat veškeré operace, to můžeme provést následujícími způsoby.

#### Odpínání úseků vedení

Stejně jako u určování postiženého vývodu lze i při lokalizaci poruchy využívat postupného odpojování jednotlivých úseků a odboček, než dojde k odpojení poruchy. Tímto způsobem se vymezi oblast s poruchou, kam se vydá technická obsluha. Tato metoda je stále i přes náročné dispečerské operace nejrozšířenější a nejefektivnější.

### **Spojování postiženého vývodu do kruhu**

Pro lokalizaci poruchy lze rovněž využít operativně jednoduššího pospojování postiženého i nepostiženého vývodu do kruhu, kde následným přerozdělením netočivé složky proudu, vypočítáme místo poruchy. Použití této metody je však omezeno soustavami, ve kterých je spojení do kruhu možné provést.

### **Indikátor poruch pro venkovní vedení**

Indikátorem poruch monitorujeme změnu netočivé složky napětí a proudu či napět'ové a proudové poměry fázových vodičů, pomocí kterých určíme směr poruchy. Pro vyhodnocení signálu využíváme nejen statických a dynamických metod ale z důvodu zvýšení citlivosti také jejich kombinace. O poruchovém stavu nás mohou informovat rozpínací kontakty relé, optická signalizace, dálková komunikace nebo indikační terčičky s magnetickou pamětí. Konkrétní místo poruchy se potom vytipuje předem pomocí dálkové komunikace, nebo ho určíme stopováním indikátorů.

## **4.4.3 Metody lokalizace poruchy**

Pro lokalizaci zemního spojení se používají metody, které lze rozdělit na:

- Aktivní – pro lokalizaci zemního spojení se využívá pomocného signálu o dané frekvenci, který se po injektování do soustavy stopuje do té doby, než dojde k lokalizaci místa poruchy.
- Pasivní – k lokalizaci místa zemního spojení využívá napět'ových a proudových signálů generovaných hledaným místem poruchy. Podle vyhodnocování parametrů napětí a proudů můžeme pasivní metody rozdělit na statické, které využívají ustáleného signálu a na dynamické využívající signál během přechodového děje.

### **4.4.3.1 Statické metody**

Jak už bylo výše uvedeno, tyto metody využívají k lokalizaci místa poruchy ustáleného stavu po odeznění poruchy. Mezi nejpoužívanější statické metody vhodné pro kompenzované distribuční soustavy patří:

#### **Wattmetrická metoda**

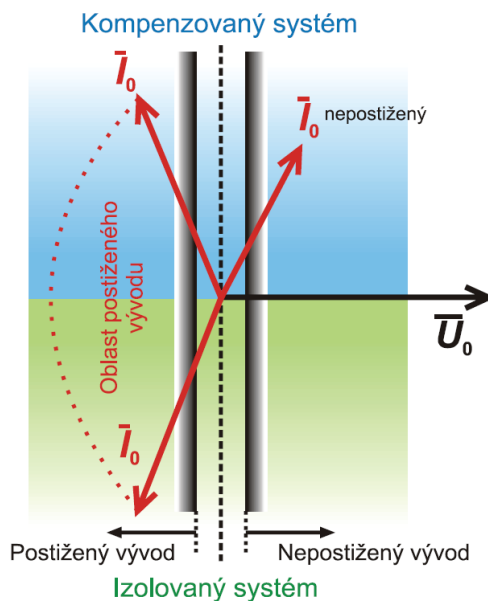
U této metody se pro lokalizaci poruchy využívá zbytkového reziduálního proudu, který přetrvává i po vykompenzování poruchy. Při zjišťování místa poruchy se měří velikost a směr činné složky netočivého proudu (výkonu) a vychází se z toho, že u postiženého vývodu je tato netočivá složka větší a má opačný směr, než nepostižený vývod Obr. 5-1.

#### **Admitanční a konduktanční metoda**

Tato metoda využívá nepřetržitého měření netočivé složky napětí a proudu, ze kterých vypočítává hodnotu admitance, resp. konduktance, kterou dále vyhodnocuje. Z důvodu omezení selhání ochrany vlivem nesymetrie sítě se raději využívá přírůstkové metody.

#### **Metoda vyšších harmonických**

U této metody se využívá nevykompenzovaných násobků základní harmonické a to především 3., 5. a 7. řádu, u kterých jejich součet ve většině případů převyšuje velikost reziduálního proudu. Jako postižený vývod se určí ten, který dosahuje největší úrovně signálu.



Obr. 4-1: Příklad charakteristiky wattmetrického článku [1]

#### 4.4.3.2 Dynamické metody

Tyto metody využívají pro vyhodnocení a lokalizaci směru poruchy transientního signálu, který je generován vznikem poruchy. Pro svou vyšší citlivost jsou často využívány v kompenzovaných sítích, nicméně nevýhodou je pouze jeden pokus pro správné vyhodnocení místa poruchy.

##### Metoda první půl-periody

Po vzniku zemního spojení dojde v soustavě k vybití kapacity postižené fáze a nabití nepostižených fází. Tím vznikne krátký (milisekundový) nabíjecí proud, který využíváme k vyhodnocení místa poruchy. Jako nepostižený vývod označí tato metoda stav, kdy je během první půl-periody od vzniku zemního spojení netočivá složka proudu a napětí ve fázi. Naopak jako postižený vývod označí metoda stav, kdy je netočivá složka proudu v protifázi se složkou napětí.

## 5 NASTAVENÍ A POPIS PRACOVIŠTĚ


Pro chránění při vzniku zemního spojení lze využít směrovou zemní ochrannou funkci DEF2. Tuto ochranou funkci obsahují ochrany řady RED500, mezi něž patří jak terminál vývodového pole REF 54\_, tak i terminál točivého stroje REM 54\_. Generování poruchových signálů do testovaného terminálu provádíme pomocí testovacího přístroje OMICRON CMC 256+.

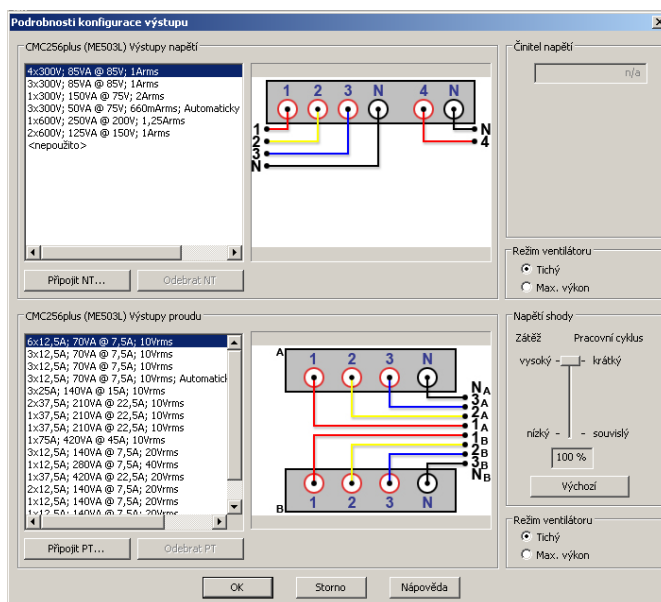
### 5.1 Testovací zařízení OMICRON CMC 256+

Jak je uvedeno ve firemní literatuře [15], zkušební přístroj (ZP) OMICRON CMC 256+ je určený k testování digitálních ochran, ale také měřících převodníků a elektroměrů. Umožňuje vytvoření zkušebních signálů a měření reakce zkoušeného objektu.

Mezi hlavní hardwarovou výbavu ZP k testování ochran patří:

- Napěťové výstupy (4 x 0 – 300 V nebo 1 x 600 V)
- Proudové výstupy (6 x 12,5 A nebo 3 x 25 A nebo 1x 75 A)
- Binární/analogové vstupy (10 multifunkčních vstupů)
- Binární výstupy (4 x binární vstup)
- Stejnoseměrné výstupy (0 – 264 V sloužící k napájení zkoušeného objektu)

**Konfigurace hardwaru** – Kliknutím na tlačítko  hardwarová konfigurace se nám otevře tabulka (Obr. 5-1) se záložkami jednotlivých vstupů a výstupů ZP, ve kterých lze nastavit, jaké signály budou použity. V našem případě jsou použity napěťové výstupy 4 x 300 V, proudové výstupy 6 x 12,5 A a binární vstup 1.



Obr. 5-1: Tabulka s výběrem napěťových a proudových výstupů

#### 5.1.1 Omicron Test Universe

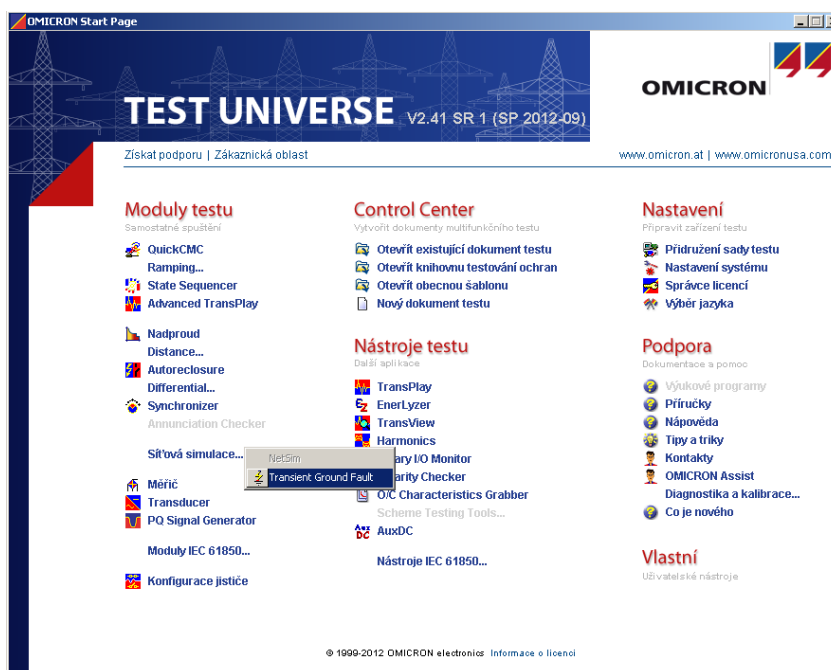
Součástí tohoto přístroje je počítačový software Test Universe (Obr. 5-2), který obsahuje testovací moduly, zkušební nástroje a umožňuje komunikaci se ZP. Tento software je dodáván ve volitelných balíčcích, které mohou obsahovat rozdílnou skupinu modulů. Níže jsou, z webových stránek OMICRON [14], uvedené příklady vybraných testovacích modulů a nástrojů.

### Testovací moduly

- QuickCMC (rychlý a jednoduchý manuální test)
- Advanced TransPlay (přehrávání poruchových záznamů a testování reakce)
- Overcurrent (testování nadproudových a časově nadproudových ochran)
- State Sequencer (vyvolání a měření za sebou jdoucích stavů)
- Network Simulation (simulování sítě pro testování relé při reálných podmínkách)
- Transient Ground Fault (simulace ustáleného stavu a transientního zemního spojení)

### Testovací nástroje

- TransPlay (záznam stavu binárního vstupu a přehrávání záznamů)
- AuxDC (nastavení pomocného stejnosměrného napájení)
- EnerLyer (analogové měření a zapisovač průběhů)
- TransView (analýza a zobrazení analogových signálů ve formátu COMTRADE)
- Binary I/O Monitor (zobrazení stavu binárních vstupů a výstupů)



Obr. 5-2: Úvodní stránka programu Test Universe

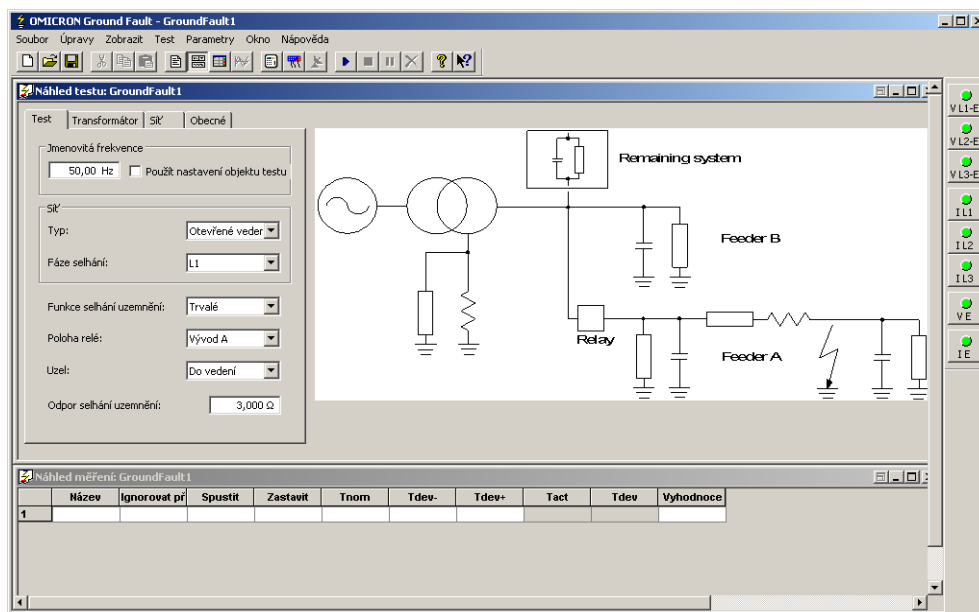
#### 5.1.1.1 Transient Ground Fault

Modul Transient Ground Fault testuje působení směrového zemního relé v síti s izolovaným nebo kompenzovaným uzlem. Tento modul vytváří přechodové napětí a proudy, které získává ze simulovaného zemního spojení s předem definovaným modelem sítě. Tato síť tedy poskytuje realistické průběhy napětí a proudů, které jsou určeny parametry nedefinované sítě a jejím napájením. Zahájení testu může být provedeno ručně nebo pomocí externího zahajovacího signálu.

Modul po testování provádí automatické vyhodnocení naměřených dat, kdy je výsledek zobrazen odděleně pomocí funkce View, nebo může být zobrazen či vytisknut s automaticky generovaným protokolem.



Prakticky se konfigurace podmínek testu provádí v zapnutém programu, v okně „Náhled testu: Ground Fault 1“, kde jsou čtyři rozdílné tabulky (Test, Transformátor, Síť, Obecné), ve kterých se nastavují konkrétní hodnoty v určitém možném rozsahu [16], [17].



Obr. 5-3: Modul Transient Ground Fault s tabulkou parametrů testu

Na Obr. 5-3 je spuštěn modul Transient Ground Fault, kde je možné vidět model simulované sítě, která má tři vývody (Feeder A, Feeder B a Remaining system). V záložce „Test“ na Obr. 5-3 je možné nastavovat následující parametry:

**Jmenovitá frekvence** – Nastavení velikosti jmenovité frekvence použité při testu. Odškrtnutím políčka „Použít nastavení objektu testu“ se přepíše nastavená jmenovitá hodnota frekvence na hodnotu frekvence testovaného objektu.

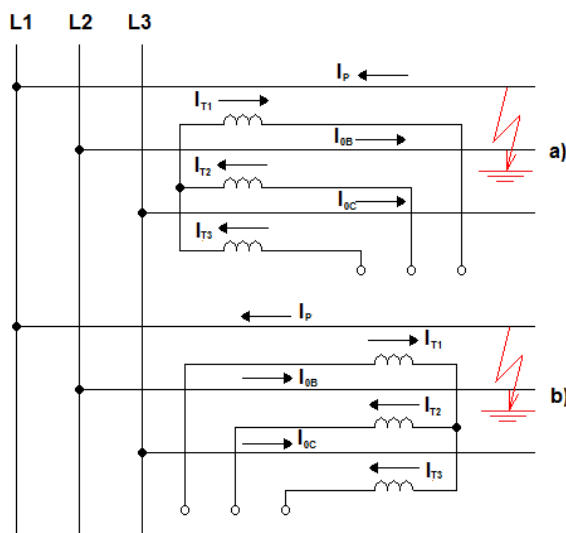
**Síť** – „Typ:“ definuje, zda se bude jednat o venkovní nebo kabelové vedení. Možností „Fáze selhání:“ lze nastavit, kterou fází postihne zemní spojení.

**Funkce selhání uzemnění** – Nabízí možnost vybrat si mezi „trvalým“ (tzn. bez přechodného jevu) nebo „přechodovým“ (tzn. s přechodovým jevem) zemním spojením.

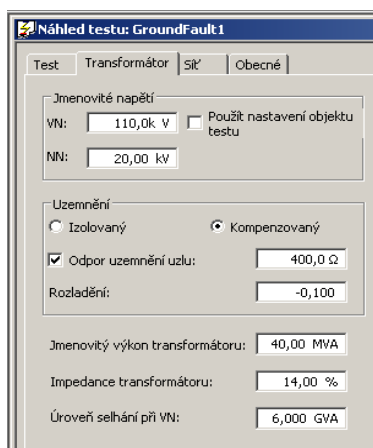
**Poloha relé** – Zemní spojení v modelu sítě nastane vždy na vývodu A (Feeder A), proto je tu možnost přemístit relé na nepostížený vývod B a testovat ochranu ve směru vzad.

**Uzel** – Zvolení, jestli uzel PTP měřící proud bude směrem do vedení nebo do přípojníc (viz Obr. 5-4). Tento parametr ovlivní, zda směrová ochranná funkce bude vyhodnocovat poruchu vpřed nebo vzad.

**Odpor selhání uzemnění** – Velikost odporu poruchy v nastavitelném rozsahu 0-150 Ω.



Obr. 5-4: Zapojení PTP a) uzel do přípojníc b) uzel do vedení



Obr. 5-5: Parametry transformátoru v modulu Transient Ground Fault

Do tabulky na Obr. 5-5, nastavujeme následující parametry transformátoru:

**Jmenovité napětí** – Nastavení velikosti jmenovitého napětí transformátoru na straně VN a NN. Odškrtnutím políčka „Použít nastavení objektu testu“ se přepíše nastavená jmenovitá hodnota VN na hodnotu napětí testovaného objektu.

**Uzemnění** – Umožňuje si vybrat, zda bude uzel transformátoru provozovaný jako izolovaný nebo kompenzovaný. „Odpor uzemnění uzlu:“ je k dispozici pouze při zvolení kompenzovaného uzlu a určuje velikost pomocného odporu při poruše. „Rozladění“ je stejně jako předchozí parametr k dispozici pouze při zvolení kompenzovaného uzlu a určuje velikost rozladění zhášecí tlumivky v procentech (10 % rozladění nastavíme hodnotou -0,1).

**Jmenovitý výkon transformátoru** – Jmenovitý výkon transformátoru v simulované síti.

**Impedance transformátoru** – Impedance použitého transformátoru v procentech.

**Úroveň selhání při VN** – Zkratový výkon na přípojnících napájecího transformátoru.

Obr. 5-6: Parametry sítě v modulu Transient Ground Fault

Do tabulky na Obr. 5-6 nastavujeme následující parametry vedení:

**Vývod A** – Zadání parametrů vývodu se zemním spojením. „R1:“ sousledná rezistance, „R0:“ netočivá rezistance, „X1:“ sousledná reaktance, „X0:“ netočivá reaktance.

**Primární kapacitní I0** – Kapacitní proud sítě a jednotlivých vývodů.

**Jmenovitý proud PT** – Jmenovitý proud PTP na primární a sekundární straně. Odškrtnutím políčka „Použít nastavení parametrů objektu testu“ se přepíše hodnoty jmenovitých proudů na hodnoty zkoušeného objektu.

Obr. 5-7: Obecné parametry v modulu Transient Ground Fault

Do tabulky na Obr. 5-7 nastavujeme následující obecné parametry:

**Podmínka spuštění testu** – Pro spuštění testu bez zpoždění slouží políčko „Okamžitě“. Volba „Při binárním vstupu“ umožní spustit test spouštěcím signálem na zvolený binární vstup a volbou „Při impulsu GPS/IRIG-B“ poskytne spustit test synchronizovaný s externím časovým odkazem.

**Čas do selhání** – Určí čas před poruchou, tento čas plyne až po kliknutí na tlačítko spustit.

**Trvání selhání** – Definuje, jak dlouho porucha potrvá.

### 5.1.1.2 Advanced TransPlay


Tento modul je popsán z literatury [16] a umožňuje import, zpracování a generování transienčních signálů do zkušebního objektu. Aby tyto soubory obsahující transienční data z reálných nebo simulovaných poruch mohly být použity, musí být vytvořeny ve vhodném formátu. Nejčastěji je však tato aplikace využívána pro reprodukování skutečných poruch zaznamenaných poruchovými zapisovači. Ty bývají integrované v digitálních ochranách, ze kterých se potom tento vytvořený záznam přenese do počítače.

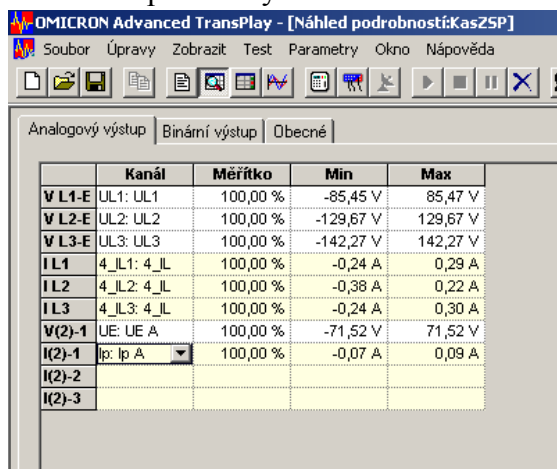
Modulem Advanced TransPlay jsou podporovány tyto formáty souborů:

- Comtrade (cfg, dat, hdr)
- L4 (pl4)
- TRF (trf)

**Nahrání záznamu do Advanced TransPlay** – Poruchový záznam se nahrává v otevřeném programu (viz Obr. 5-8) kliknutím na záložku „Soubor“ a „Import“, kde se poté nabídne otevřít soubor v již zmíněném odpovídajícím formátu.


**Náhledy** – Výsledky a nastavování zkoušek je možné provádět ve čtyřech různých náhledech:

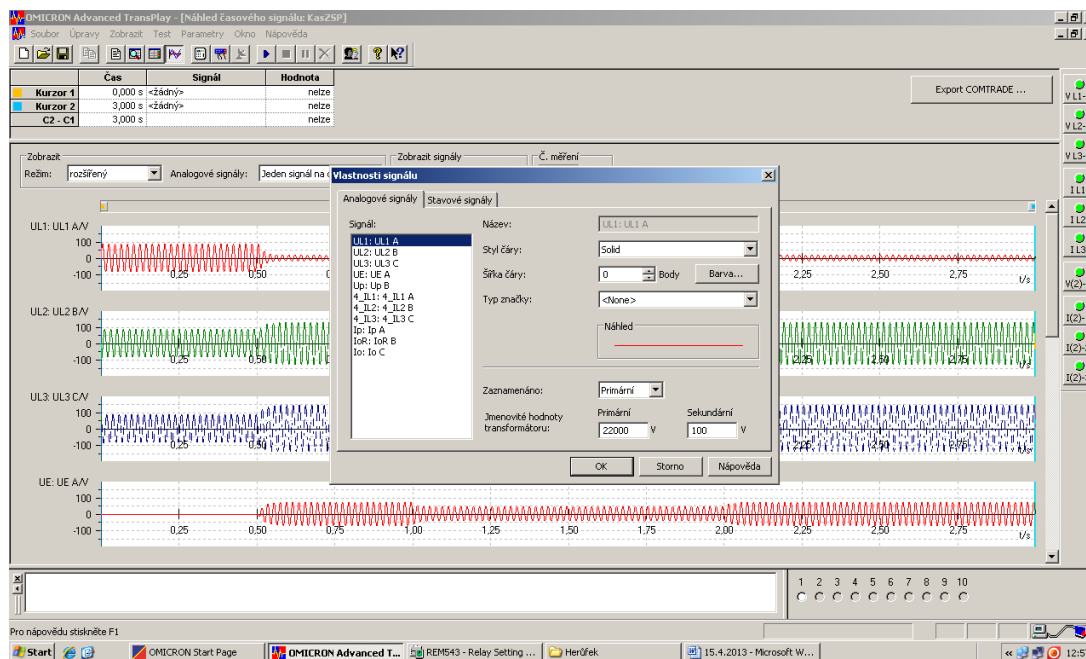
 **Detailní náhled** – V tomto detailním náhledu (Obr. 5-8) provádíme nastavení zkoušky. Jsou zde přesměrovány analogové signály na výstupní analogové signály CMC, propojovány binární signály a definovány všeobecné podmínky testu.




	Kanál	Měřítko	Min	Max
V L1-E	UL1: UL1	100,00 %	-85,45 V	85,47 V
V L2-E	UL2: UL2	100,00 %	-129,67 V	129,67 V
V L3-E	UL3: UL3	100,00 %	-142,27 V	142,27 V
IL1	4_IL1: 4_IL	100,00 %	-0,24 A	0,29 A
IL2	4_IL2: 4_IL	100,00 %	-0,38 A	0,22 A
IL3	4_IL3: 4_IL	100,00 %	-0,24 A	0,30 A
V(2)-1	UE: UE A	100,00 %	-71,52 V	71,52 V
I(2)-1	Ip: Ip A	100,00 %	-0,07 A	0,09 A
I(2)-2				
I(2)-3				


Obr. 5-8: Detailní náhled v Advanced TransPlay

 **Náhled na časové signály** – Tento náhled je k dispozici po nahrání (Importu) poruchového záznamu a ukazuje průběhy nahraných transienčních proudových a napěťových signálů. Zobrazení signálů je možné nastavit v libovolném zobrazovacím režimu a počtem signálů na diagram. Tuto datovou sadu lze posléze upravovat a přizpůsobovat plánované zkoušce, může být prodloužena doba před poruchou, označovány změny stavů nebo vkládány nové binární signály. Dvojklikem na libovolný signál se nám stejně jako na Obr. 5-9 objeví tabulka s vlastnostmi jednotlivých signálů, ve které můžeme zadávat parametry pro přepočítání primárních a sekundárních hodnot.



Obr. 5-9: Náhled na časové signály s tabulkou vlastností signálů

 *Náhled na měřené hodnoty* – Zde se definují požadované hodnoty pro měření časů a vyhodnocuje, zda byly dodrženy podmínky měření.

 *Náhled na protokol* – Zde je zobrazen výsledek zkoušky, který je možné uspořádat ve vlastním protokolu.

## 5.2 Testovaný terminál a ochranné funkce

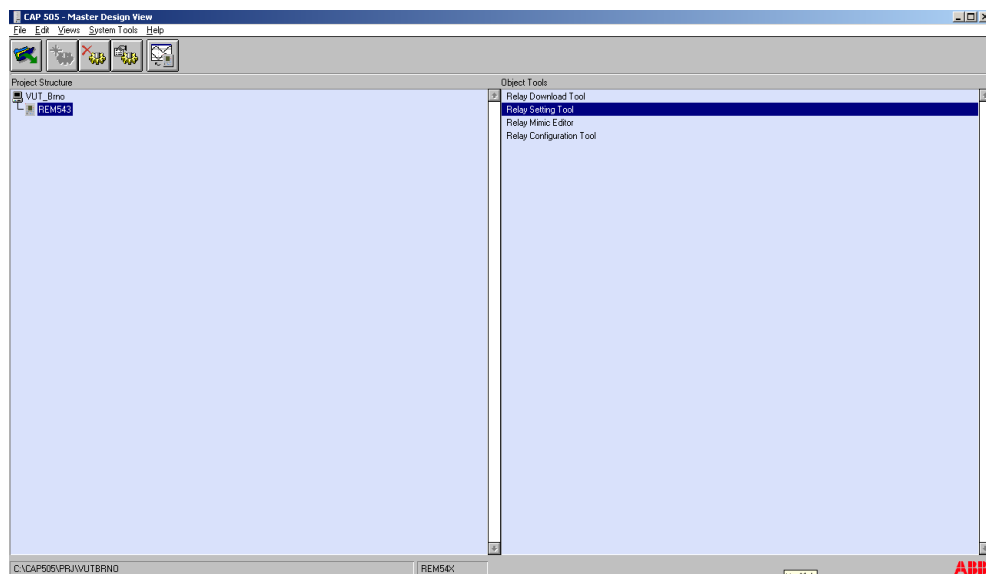
Jak už bylo řečeno na začátku kapitoly, pro chránění vn sítí při vzniku zemního spojení jsou vhodné terminály obsahující ochranný funkční blok DEF2, čímž jsou terminály řady RE\_ 54\_ vyráběné společností ABB. Mezi vhodné terminály patří jak terminály vývodového pole REF 541 (543, 545), tak i terminály ochrany strojů REM 543 (545), který byl použit v této bakalářské práci. Číselné označení terminálů, např. mezi REM 543 a 545, popisuje počet dostupných vstupů a výstupů.

### 5.2.1 Terminál točivého stroje REM 543

Terminál točivého stroje REM 543 je určený k chránění generátorů v elektrárnách malých a středních výkonů, ale může být také použit pro chránění vn motorů a vývodů distribučních sítí. Správnou činnost terminálu zajišťují skupiny (ochranných, měřicích, kontrolních, komunikačních, řídicích, ovládacích, univerzálních a standardních) funkcí, které lze volit a nastavovat pomocí aplikace CAP 505. Přehled vybraných skupin funkcí a jejich funkčních bloků je v kapitole 5.2.2. Text této kapitoly byl čerpán a přeložen z firemní literatury [18].

#### 5.2.1.1 Nastavení ochrany přes CAP 505

Ovládání ochrany je možné provádět buď pomocí šipek na předním panelu ochrany, nebo prostřednictvím programu CAP 505, který je popsán v literatuře [19]. Po spuštění tohoto programu se na monitoru objeví základní zobrazení (viz. Obr. 5-10), které obsahuje čtyři nástroje na ovládání relé.



Obr. 5-10: Terminál CAP 505

**Relay Download Tool** – Po spuštění tohoto nástroje se objeví okno, které obsahuje dvě záložky. První z nich je „send“ obsahující funkce pro odesílání dat z ochrany a druhá je „receive“, která obsahuje funkce pro příjem dat do ochrany.

**Relay Mimic Editor** – Pomocí tohoto nástroje je možné nastavovat grafické zobrazení displeje a výstražné kanály terminálu.

**Relay Configuration Tool** – Tento nástroj slouží k nastavování ochranných, měřících, kontrolních, monitorujících a logických funkcí. Program je vytvořen z blokových nákrešů funkcí, ke kterým se přiřazují jednotlivé vstupy a výstupy.

**Relay Setting Tool** – Pomocí tohoto nástroje je možné (červeně označenými tlačítky na Obr. 5-13) nahrávat požadované parametry do ochrany nebo stahovat aktuální nastavení. Tento nástroj se skládá z několika druhů knihoven (např. Protection library), které obsahují odpovídající ochranné (např. DEF2), měřící a kontrolní funkce, u kterých lze podrobněji nastavovat jejich parametry.

### 5.2.2 Popis funkcí REM 543

Příklady vybraných funkcí a jejich členění v následujícím textu, který byl čerpán z literatury ABB [18].

**Ochranné funkce** - Jsou nejdůležitější skupinou funkcí terminálu. Tvoří je jednotlivé ochranné funkční bloky (Tab. 5-1), kde některé z nich mají více navzájem nezávislých stupňů (např. DEF2Low), které mají samostatnou skupinu nastavení a vlastní záznam dat.

Tab. 5-1: Příklady ochranných funkcí terminálu REM 543 [18]

DEF2	Směrová zemní ochrana
NEF1	Nesměrová zemní ochrana
NOC3	Nesměrová nadproudová ochrana
DOC6	Třífázová směrová nadproudová ochrana

**Měřicí funkce** - Měří tři fázové proudy, tři sdružená napětí, nulovou složku proudu, nulovou složku napětí, frekvenci a účinník, zbylé veličiny jsou vypočítány. Naměřené hodnoty je možné zobrazit místně nebo dálkově v měřítku primárních hodnot.

Tab. 5-2: Příklady měřících funkcí terminálu REM 543 [18]

MEDREC16	Poruchový zapisovač transienčních jevů
MECU1	Měření nulové složky proudu
MEVO1	Měření nulové složky napětí

**Řídící funkce** - Indikují stavy spínacích prvků (tj. odpojovačů, vypínačů) a dávají jim zapínací a vypínací povely.

Tab. 5-3: Příklady řídicích funkcí terminálu REM 543 [18]

CODC1	Ovládání odpojovače 1 s indikací
COCB1	Ovládání vypínače 1 s indikací
COIND1	Indikace spínacího prvku

### 5.2.2.1 Ochranná funkce DEF2

Ochranný funkční blok DEF2 je směrovou zemní ochrannou. Tato funkce má tři stupně, které můžeme rozdělit na DEF2Low, DEF2High a DEF2Inst. Všechny ochranné stupně využívají časově nezávislé, tj. DT (Definite Time) charakteristiky, přičemž stupeň DEF2Inst je určen pro mžikové působení ochrany. Charakteristiku IDMT (Inverse Definite Minimum Time), tj. se závislým časovým zpožděním a minimálním nezávislým časem, zahrnuje pouze ochranný stupeň s nižším rozsahem seřiditelnosti (DEF2Low). Následující text, popisující ochranou funkci DEF2 byl čerpán z firemní literatury ABB [12], [20].

#### Režim měření

Funkční blok může pracovat na dvou alternativních měřících principech, které natavujeme v záložce „Control setting“ zvoleného funkčního bloku. Prvním je výpočet průměrné hodnoty z po sobě jdoucích okamžitých špičkových (peak-to-peak) hodnot, nebo numerickým výpočtem zemního proudu a zbytkového napětí na základní harmonické. V obou měřících principech je ochrana necitlivá na stejnosměrné složky a provozní přesnost je definována v kmitočtovém rozsahu  $f/f_n = 0,95 - 1,05$ .

#### Nastavení parametrů ochranné funkce DEF2

Nastavování ochranné funkce DEF2Low provádíme v aktivní záložce (Obr. 5-13), v našem případě „setting group 1“, ve které nastavujeme následující parametry:

*Operation mode* – Pomocí kterého vybíráme časově nezávislou „Definite time“ charakteristiku nebo časově závislou „Inverse definite minimum time“ charakteristiku. Navíc časově závislou charakteristiku lze volit „Extremely inverse“, „Very inverse“, „Normal inverse“ a „Long time inverse“. Tyto inverzní charakteristiky mají definovaný vztah mezi proudem a časem vypnutí podle Tab. 5-4 a rovnice

$$t = \frac{k \times \beta}{\left(\frac{I_0}{I_S}\right)^\alpha - 1}, \quad (5.1)$$

kde  $k$  je nastavitelný násobek času,  $I_0$  nulová složka proudu a  $I_s$  nastavitelný popudový proud.

Tab. 5-4: Hodnoty konstant určující sklon charakteristiky [12]

Inverse-time characteristic	$\alpha$	$\beta$
Normal inverse	0.02	0.14
Very inverse	1.0	13.5
Extremely inverse	2.0	80.0
Long-time inverse	1.0	120

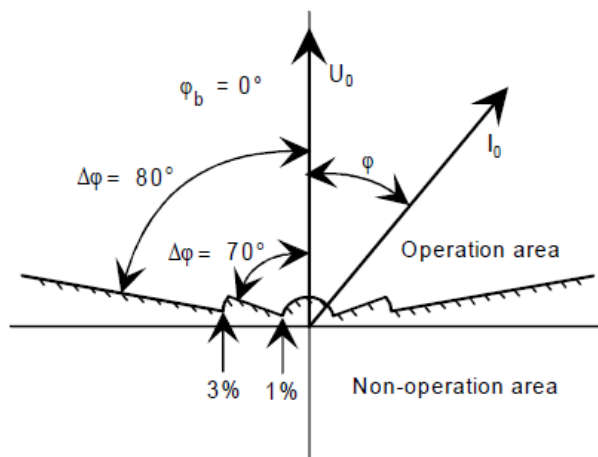
*Operation criteria* – Zde se nastavuje kritérium působení (vypnutí), které nastane, jakmile jsou současně splněny nastavené podmínky. Pokud jsou splněny podmínky pro spuštění, funkčního blok se spustí a oznámí to signálem START. Jakmile je ale překročena nastavená doba trvání zemního spojení, ochrana vyšle signál TRIP, který odpojí postižený vývod. Druhy operačních kritérií jsou následující:

- $\text{BasicAng} \& U_0$  – funkce se spustí, když budou současně splněny následující 3 kritéria:
  - zemní proud  $I_0$  a zbytkové napětí  $U_0$  překročí určitou nastavenou hodnotu.
  - fázový úhel  $\varphi$  mezi tímto proudem a napětím bude v operační rozsahu  $\varphi_b \pm \Delta\varphi$  nebo v případě použití funkce pro detekci přerušovaného zemního spojení, bude-li detekováno během určité doby dostatečné množství proudových špiček.
- $\text{BasicAng}$  – funkce se spustí, když budou současně splněna následující 2 kritéria:
  - zemní proud  $I_0$  překročí určitou nastavenou hodnotu.
  - fázový úhel  $\varphi$  mezi tímto proudem a napětím bude v operační rozsahu  $\varphi_b \pm \Delta\varphi$  nebo v případě použití funkce pro detekci přerušovaného zemního spojení, bude-li detekováno během určité doby dostatečné množství proudových špiček.
- $I_0 \text{Sin/Cos} \& U_0$  – funkce se spustí, když budou současně splněna následující 2 kritéria:
  - zbytkové napětí  $U_0$  překročí určitou nastavenou hodnotu.
  - zemní proud  $I_0 \sin \varphi$  nebo  $I_0 \cos \varphi$  překročí určitou nastavenou hodnotu nebo v případě použití funkce pro detekci přerušovaného zemního spojení, bude-li detekováno během určité doby dostatečné množství proudových špiček a zemní proud překročí nastavenou hodnotu.
- $I_0 \text{Sin/Cos}$  – funkce se spustí, když bude splněno následující kritérium:
  - zemní proud  $I_0 \sin(\varphi)$  nebo  $I_0 \cos(\varphi)$  překročí určitou nastavenou hodnotu, nebo v případě použití funkce pro detekci přerušovaného zemního spojení, bude-li detekováno během určité doby dostatečné množství proudových špiček a zemní proud překročí nastavenou hodnotu.
- Non-dir.  $I_0$  – tato funkce se spustí, když zemní proud překročí určitou hodnotu.
- Non-dir.  $U_0$  – tato funkce se spustí, když zbytkové napětí překročí určitou hodnotu.

*Operation direction* – Přes tento parametr nastavujeme provozní směr ochrany vpřed „Forward“, nebo vzad „Reverse“. Výchozí nastavení ochrany je vpřed, tzn. směr toku výkonu je směrem z přípojnic do vedení.

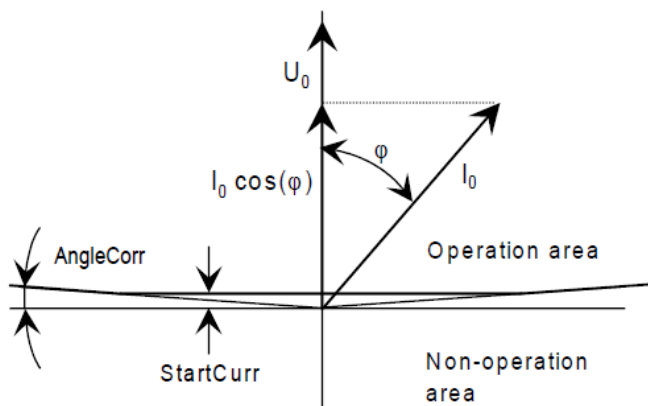


Basic angle  $\varphi_b$  - Základní úhel  $\varphi_b$  lze nastavit v rozsahu  $-90^\circ$  až  $0^\circ$  a závisí na způsobu provozu sítě. U kompenzovaných sítí bývá nastaven na  $0^\circ$  (Obr. 5-11). Operační sektor  $\Delta\varphi$  může být nastaven na rozsah  $\pm 80^\circ$ , nebo  $\pm 88^\circ$ .



Obr. 5-11: Operační charakteristika při  $\varphi_b = 0^\circ$ ,  $\Delta\varphi = 80^\circ$  a spouštěcí proud 1,0 %  $I_n$  [12]

Operating characteristic - Tato operační charakteristika může být nastavena jako  $I_0 \sin(\varphi)$ , nebo  $I_0 \cos(\varphi)$ . Při provozování kompenzované sítě by měla být použita charakteristika  $I_0 \cos(\varphi)$ , uvedená na Obr. 5-12. Opravný úhel (AngleCorr) se nastavuje v rozsahu  $0^\circ$  až  $10^\circ$ .



Obr. 5-12: Operační charakteristika  $I_0 \cos(\varphi)$  [12]

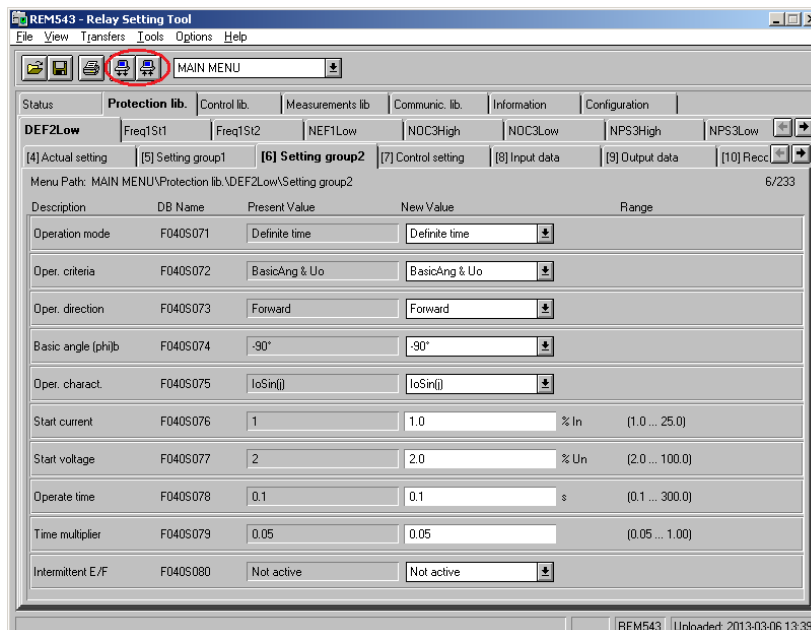
*Start current* – Velikost popudového proudu, nastavitelného v rozmezí 1 – 25 %  $I_n$ .

*Start voltage* – Velikost popudového napětí, nastavitelného v rozmezí 2 – 100 %  $U_n$ .

*Operate time* – Funkcí „Operate time“ se nastavuje čas, po který musí být měřená veličina nad limitem, aby došlo k vypnutí funkčním blokem. Tento vypínací čas je možné nastavit v rozmezí 0,1 – 300 s a to pouze u časově nezávislé (DT) charakteristiky.

*Time multiplier* – Je nastavitelný násobek času v rovnici (5.1), pomocí kterého se nastavuje posunutí charakteristiky. Tuto funkci je možné nastavovat v rozmezí 0,05 – 1 a je k dispozici pouze u časově závislé (IDMT) charakteristiky.

*Intermittent E/F* – Tato funkce je vhodná do míst s přerušovaným zemním spojením, které když je aktivována dokáže snáze zaznamenat.



Obr. 5-13: Záložka ochranné funkce DEF2 s možnostmi nastavení

Nastavení dalších parametrů ochrany, např. definování minimálního času vypnutí u IDMT charakteristiky nebo již zmíněný angle correction, operation sector a režim měření, nastavujeme v záložce „Control setting“.

### 5.2.2.2 Ochranná funkce NEF1

Ochranný funkční blok NEF1 zastává funkci nesměrové zemní ochrany, která má stejně jako DEF2 tři stupně nastavitelnosti a stejný režim měření. Tato nesměrová ochranná funkce je jednodušší než směrová, čemu také odpovídá množství nastavitelných parametrů. U funkčního bloku NEF1 tedy nastavujeme pouze „Operation mode“, „Start current“, „Operate time“ a „Time multiplier“.

### 5.2.2.3 Měřicí funkce MEDREC16

Tento měřicí blok popsany v literatuře [21], slouží k zápisu poruchových záznamů, který je možné nastavovat v programu CAP 505. Tento poruchový zapisovač dokáže zaznamenávat až 16 analogových kanálů ale také hodnoty stavů digitálních vstupů BI1 – BI16. Analogové hodnoty jsou zaznamenány jako okamžité a jsou převedeny na primární špičkové hodnoty. Zaznamenaná data se stahují pomocí DR-Collector Tool, který je převede na formát COMTRADE. Pro nastavení parametrů poruchového zapisovače slouží záložka „Control setting“, která je na Obr. 5-14.

*Operation modes* – Tyto módy umožňují volit mezi třemi způsoby nahrávání. Prvním způsobem je „Saturation mode“, který probíhající nahrávání zastaví, jakmile se plně zaplní paměť. Tento mód je vhodný tam, kde mají vyšší prioritu starší záznamy než nově vznikající. Naopak pokud zvolíme možnost „Overwrite mode“, při zaplnění paměti začne docházet k přepisování nejstarších záznamů. Poslední možností je „Extension mode“, u kterého se s každým novým spuštěným nahráváním začne nahrávat nový záznam.

*Triggering alternatives* – Při jakémkoli z uvedených způsobů spuštění záznam uvádí čas a důvod spuštění.

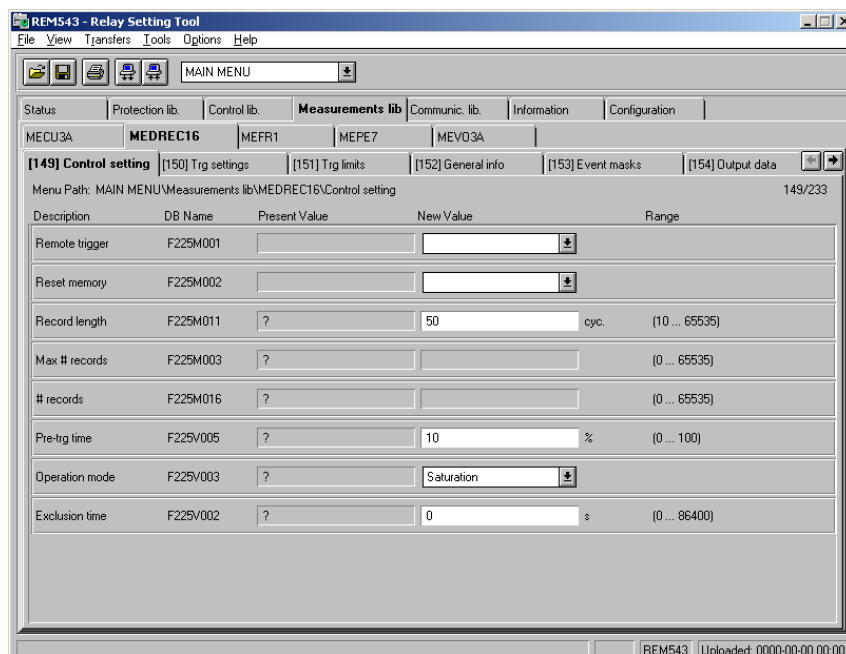
- Na vzestupné nebo sestupné hraně z digitálních vstupů BI1 – BI16.
- Na nadproud, nadpětí a podpětí.
- Pomocí menu nebo tlačítka na předním panelu.
- Přes sériovou komunikaci.
- Pravidelným spouštěním.

*BI enable a BI mode* – Všechných 16 digitálních vstupů má vlastní váhový faktor, který se zadáním do „BI enable“ a „BI mode“ začne zaznamenávat poruchovým zapisovačem. Konkrétně ochranná funkce NEF1 má binární vstup BI6 a váhový faktor 32 a ochranná funkce DEF2 má binární vstup BI7 a váhový faktor 64. V případě potřeby nahrávat více vstupů najednou, musíme zadat váhový faktor jako součet jednotlivých faktorů.

*Sampling frequencies* – Závisí na nastavené jmenovité frekvenci, která se nastavuje v Relay Configuration Tool, a obsahuje vždy 40 vzorků základního signálu. To znamená, že při nastavené jmenovité frekvenci 50 Hz bude vzorkovací frekvence 2 kHz. Digitální signály mají nastavenou vzorkovací frekvenci 100 Hz, která odpovídá intervalu jednoho úkolu.

*Length of recordings* – Délka záznamu odpovídá velikosti paměti a počtu použitých vstupů. Pevná velikost zapisovače je 100 kB, což odpovídá 50 000 vzorků.

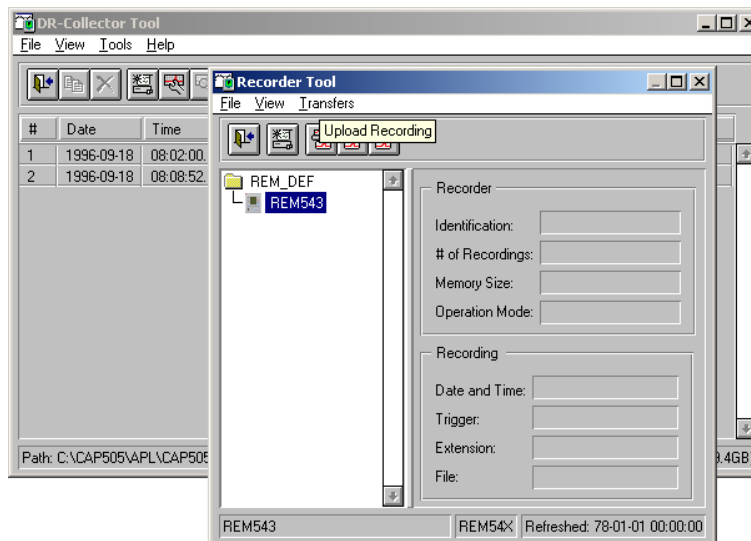
*Pre - trigger data* – Analogová data jsou neustále zaznamenávána do paměti zapisovače. Jestliže však vyžadujeme záznam dat před spuštěním, je možné procentuálně nastavit jak velká část poruchového záznamu (Length of recordings) bude zachována před začátkem poruchy.



Obr. 5-14: Tabulka s parametry poruchového zapisovače MEDREC16

**Stážení poruchového záznamu** – Po působení ochranné funkce, která má nastavený váhový faktor v MEDREC16, můžeme stáhnout poruchový záznam. Stažení se provádí v hlavním menu, programu CAP 505 (Obr. 5-10), pomocí již zmíněného DR-Collector Tool, kde se zvolí možnost Recorder Tool. Potom se vybere používaná ochrana, v tomto případě REM 543, zvolíme Upload

Recording (Obr. 5-15) a následně stažení potvrdíme. Po stažení záznamu z ochrany do CAP 505 je možné, volbou File a Copy, stáhnout záznam do libovolného místa v počítači.



Obr. 5-15: Stažení poruchového záznamu

### 5.3 Pracoviště pro testování ochrany

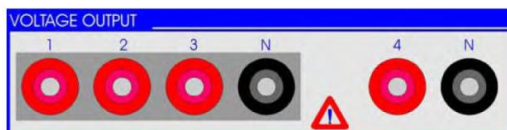
Schéma zapojení pracoviště pro testování funkce zemní ochrany je v příloze A. Pro nastavování podmínek testu i zobrazení výsledků jsou oba přístroje propojené s počítačem. Použité propojovací kabely a zdířky obou přístrojů ze schématu zapojení jsou popsány v následujících dvou kapitolách.

#### 5.3.1 Zapojení OMICRONU CMC 256+

Pro komunikaci s testovacím přístrojem OMICRON používáme počítač, se kterým je spojen přes síťový propojovací kabel (Ethernet). Tento kabel se zapojuje do síťové karty PC a do portu ETH1 na zadní straně OMICRONU. Tato kapitola byla čerpána z referenční příručky [15].

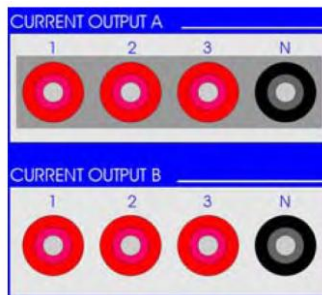
Zapojení silových kabelů na straně OMICRONU je provedeno následovně:

**Napěťové výstupy (Voltage Output)** - Z těchto čtyř výstupů s galvanicky spojenými svorky N, odebíráme napětí pro ochranu. Ze svorek 1, 2 a 3 na Obr. 5-16, odebíráme sdružené napětí soustavy a ze svorky 4 napětí představující netočivou složku napětí.



Obr 5-16: Napěťové výstupy [15]

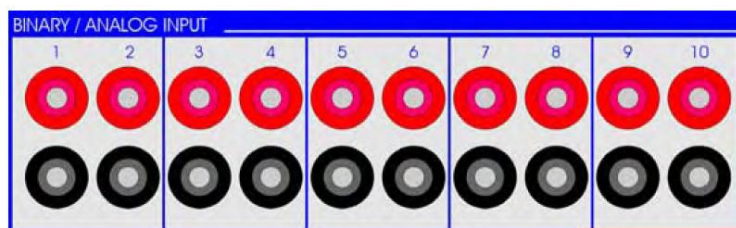
**Proudové výstupy (Current Output)** - Na Obr. 5-17 jsou dva navzájem galvanicky oddělené proudové výstupy, ze kterých odebíráme potřebné proudy pro ochranu. Z prvního proudového výstupu (CURRENT OUTPUT A) odebíráme ze svorek 1, 2 a 3 proudy jednotlivých fází soustavy a z druhého výstupu (CURRENT OUTPUT B) svorka 1 netočivou složku proudu (svorky 2 a 3 se současně spojí s nulovým vodičem).



Obr. 5-17: Proudové výstupy [15]

**Binární vstupy (Binary / Analog Input)** - OMICRON CMC 256+ obsahuje 10 binárních vstupů (Obr. 5-18), které jsou tvořeny pěti galvanicky oddělenými skupinami. Tyto vstupy lze nakonfigurovat softwarem OMICRON Test Universe, kde se dá určit, zda se bude jednat o vstupy s potenciálem nebo bez potenciálu. Pro vstupy s potenciálem je potom možné určit očekávané jmenovité napětí a spínací mez.

Ve schématu v příloze A, je použit binární vstup na svorce 1 k zaznamenání signálu z testované ochrany a ukončení testu.



Obr. 5-18: Binární vstupy [15]

### 5.3.2 Zapojení Terminálu točivého stroje REM 543

Zapojení testovaného terminálu můžeme, stejně jako u přístroje OMICRON, rozdělit na komunikační a silovou část. Pro komunikaci ochrany s PC se používá specifický optický kabel ABB, který je zapojen do sériového portu (RS-232) na předním panelu ochrany a do sériového portu (COM1) použitého počítače. Následující text byl čerpán z technického referenčního manuálu [20].

Svorkovnice silové části testovaného terminálu jsou umístěny na zadní straně přístroje a používáme je jak pro připojení generovaných signálů z testeru, tak pro vyvedení binárních výstupů pro tester. Pro zapojení pracoviště v příloze A byly použity dva svorkovnicové bloky. Celkové svorkovnicové schéma terminálu REM 543, použitého při měření, je v Příloze D.

#### Svorkovnicový blok X1.1

První použitý blok X1.1 slouží k připojení měřících transformátorů proudu a napětí. Na tyto svorky se však připojují takové proudy a napětí, které velikostí signálu, jíž odpovídají sekundární straně přístrojových transformátorů. Podrobné zapojení těchto svorek ze schématu zapojení z přílohy A je provedeno následovně:

- Proud, odpovídající PTP měřící proudy jednotlivých fází soustavy, jsou zapojeny na kanály CH2-4, resp. přírůbovací transformátory CT1-3 (Current Transformer) se vstupem 1 A, tj. svorky (1, 3; 4, 6; 7, 9).
- Proud, odpovídající PTP měřící netočivou složku proudu, je zapojen na kanál CH5, resp. přírůbovací transformátor CT4 se vstupem 1 A, tj. svorky (10, 12).

- Napětí, odpovídající PTN měřící netočivou složku napětí, je zapojeno na kanál CH7, resp. příznůsobovací transformátor VT1 (Voltage Transformer), tj. svorky (16, 18).
- Napětí, odpovídající PTN měřící napětí jednotlivých fází soustavy, je zapojeno na kanály CH8-10, resp. příznůsobovací transformátor VT2-4, tj. svorky (19, 21; 22, 24; 25, 27).

#### **Svorkovnicový blok X4.1**

Tento blok obsahuje binární vstupní/výstupní konektory, ale také modul pro napájení ochrany. Pro testování podle schématu v příloze A, byly využity svorky 12 a 13, což je rychlý výkonový výstup HSPO, který je určený k vypínání vypínače. V našem případě však ovládal vypínání testeru OMICRON. Další použité svorky v tomto bloku jsou 1 (L) a 2 (N), které slouží k napájení ochrany.

## 6 PRAKTICKÁ ČÁST MĚŘENÍ

Tato kapitola bakalářské práce je zaměřena na praktické zkoušení ochrany. První podkapitola 6.1 obsahuje nastavené parametry ochranných funkcí a měřicí funkce MEDREC16. V další podkapitole 6.2 je uveden postup určení parametrů sítě potřebné pro reprodukování poruchy pomocí síťové simulace. A poslední podkapitola 6.3 zahrnuje výsledky zaznamenaných a přehraných poruchových záznamů.

Při testování byly pro testovací zařízení OMICRON, použity parametry sítě a poruchový záznam z diplomové práce od autora P. Bažaty [22].

### 6.1 Nastavení parametrů ochrany

Vybrané parametry se do ochrany nahrají pomocí levého tlačítka označeného na Obr. 5-12. Poté se zobrazí tabulka, kde se vybere aktuální stránka (Current page) a následně se nahrání potvrdí tlačítkem OK. Parametry, které byly nahrány do ochrany před testováním, jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 6-1: Nastavené parametry ochranné funkce DEF2

Operation mode	Oper. kritéria	Oper. direction	Basic angle $\phi_b$	Oper. charact.
Definite time	IoSin/Cos	Forward	-90°	IoCos(i)
Start current	Start voltage	Operate time	Time multiplier	Intermittent E/F
1	2	0,1	0,05	Not active

Při testování byla použita také nesměrová ochranná funkce NEF1, do které se nahrály parametry stejným postupem jako do předchozí ochranné funkce. Nahrání parametry jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 6-2: Nastavené parametry ochranné funkce NEF2

Operation mode	Start current	Operate time	Time multiplier
Definite time	1	0,1	0,05

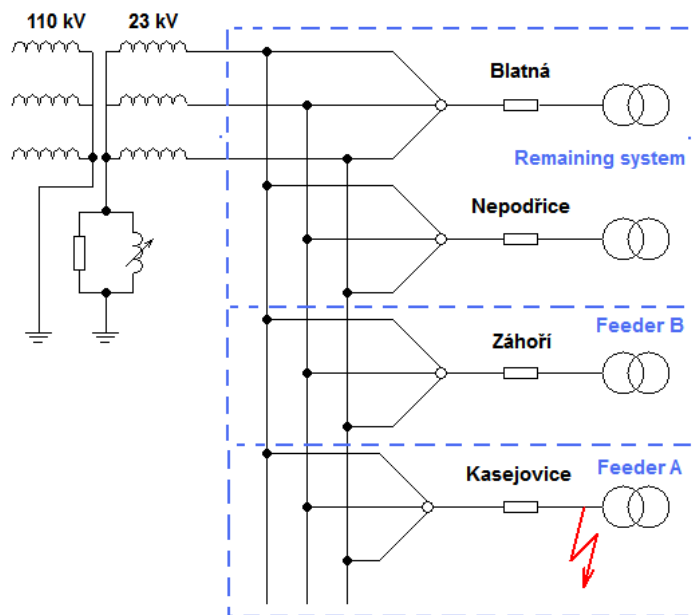
Jak už bylo popsáno v kapitole 5.2.2.3, zaznamenání poruchy provádíme s použitím měřicí funkce MEDREC16, která měla při testu nastavené parametry podle Tab. 6-3. Pomocí této měřicí funkce byly zaznamenávány výsledky ze simulované sítě, ale také poruchové záznamy přehrané v Advanced TransPlay.

Tab. 6-3: Nastavené parametry měřicí funkce MEDREC16

Record length	Max # records	Pre-trg time	Operation mode	BI enable BI mode
10	7	70	Overwrite	96

### 6.2 Určení parametrů simulované sítě

Pro simulování bylo použito schéma vedení z [22], viz Příloha C, které bylo rozděleno na potřebné vývody podle Obr. 6-1. Pro vývod A byl použit vývod Kasejovice, pro vývod B vývod Záhoří a zbytek sítě reprezentují vývody Blatná a Nepodřice. Některé parametry potřebné pro nastavení simulované sítě (viz. kapitola 5.1.1.1) nebyly v diplomové práci [22] zadány a proto, aby mohl být test uskutečněn, je bylo zapotřebí stanovit i s určitým odhadem.



Obr. 6-1: Simulovaná síť

V následujících čtyřech tabulkách jsou uvedeny parametry, které byly použity pro simulátor poruch OMICRON. Některé potřebné parametry nebylo možné jednoznačně určit nebo nebyly ve [22] vůbec zadány. Tyto parametry jsou v tabulkách žlutě zvýrazněné a následně vysvětleno jejich určení.

Tab. 6-4: Parametry testu

Jmenovitá frekvence	50 Hz
Typ sítě	Otevřené vedení
Fáze selhání	L1
Funkce selhání uzemnění	Přechodné
Poloha relé	A
Uzel PTP	Směr přípojnice
Odpor selhání uzemnění	0,1 $\Omega$ , 83 $\Omega$

*Typ sítě* – Pro test bylo nastaveno venkovní vedení, přestože v poruchovém záznamu byla síť obsahující malou část kabelového vedení.

*Funkce selhání uzemnění* – Během testu byl tento parametr nastaven na „přechodné“, to znamená, že byl simulován (tzn. zaznamenán) i přechodný jev. Při testování vlivu zapojení PTP však byl tento parametr nastaven na „trvalé“, protože pro vyhodnocení stačila ustálená složka.

*Uzel PTP* – Protože ve [22] nebyl uveden směr zapojení PTP, v simulované síti se nastavil směrem do přípojníc. Vliv zapojení uzlu PTP na fázový posun mezi netočivou složkou napětí a proudu je popsán v kapitole 6.3.3.

*Odpor selhání uzemnění* – V diplomové práci [22] byly simulovány poruchy s odporem 0 a 500  $\Omega$ . Simulátor poruch však umožňuje nastavení odporu poruchy nejnižší 0,1  $\Omega$  a nejvyšší 150  $\Omega$  přičemž, při zadané funkci selhání uzemnění jako „přechodné“, simulátor dovolil spustit test při odporu poruchy nejvyšší 83  $\Omega$ .

Tab. 6-5: Parametry transformátoru



Strana VN	110 kV
Strana NN	23 kV
Uzemnění	Kompenzovaný
Odpor uzemnění	707 $\Omega$
Rozladění	-0,05
Jmenovitý výkon transformátoru	25 MVA
Impedance transformátoru	11,50%
Úroveň selhání při VN	10 GVA

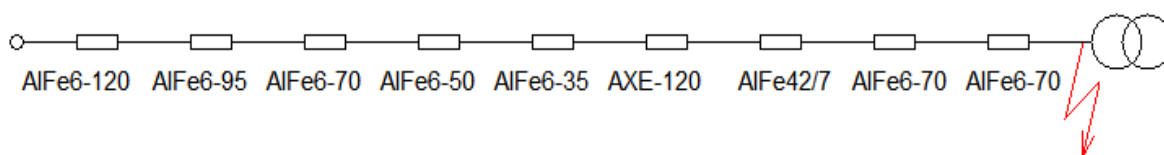
*Rozladění* – Porovnávaný poruchový záznam byl vytvořen při rozladění 2 %, OMICRON však umožňuje nejmenší možné rozladění 5 % odpovídající hodnotě -0,05.

*Úroveň selhání při VN* – Model sítě použitý ve [22] měl zdroj disponující neomezeným výkonem. Pro síťový simulátor však byla nastavena hodnota 10 GVA, která by neměla výrazně ovlivnit výsledek testu.

Tab. 6-6: Parametry vedení

R1	8,6
X1	8,59
R0	25,81
X0	25,78
Sít kapacitní proud	78,3
Vývod A kapacitní proud	23,1
Vývod B kapacitní proud	8,7
Prim. PTP	60
Sec. PTP	1

*Parametry vývodu A* – Do OMICRONU bylo potřeba zadat parametry vedení postiženého vývodu A, které však nejsou ve [22] zadány, proto musely být vypočítány z uvedených hodnot parametrů lan (Příloha B) a ze znalosti simulované sítě, viz Obr. 6-2.



Obr. 6-2: Simulovaný vývod Kasejovice [22]

Výpočet sousledné složky rezistance a reaktance vývodu A je:

$$R_{(1)} = 7,628 \cdot 0,225 + 2,819 \cdot 0,301 + 7,527 \cdot 0,434 + 1 \cdot 0,615 + 1,3 \cdot 0,778 + 1 \cdot 0,253 + 1,297 \cdot 0,687 = 8,6 \Omega \quad (6.1)$$

$$X_{(1)} = 7,628 \cdot 0,378 + 2,819 \cdot 0,388 + 7,527 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,411 + 1,3 \cdot 0,418 + 1 \cdot 0,126 + 1,297 \cdot 0,404 = 8,59 \Omega \quad (6.2)$$

a výpočet nulové složky rezistance a reaktance je:

$$R_{(0)} = 3 \cdot R_{(1)} = 3 \cdot 8,6 = 25,81 \Omega \quad (6.3)$$

$$X_{(0)} = 3 \cdot X_{(1)} = 3 \cdot 8,59 = 25,78 \Omega. \quad (6.4)$$

*Kapacitní proud* – Velikost proudu závisí na délce sítě, pro kterou ve [22] bylo zadáno:

- Celková délka uvažované sítě je 229,93 km venkovního vedení a 9,194 km kabelového vedení.
- Vývod A má 105,957 km venkovního vedení a 1,435 km kabelového.
- Vývod B má 39,924 km venkovního vedení a 0,547 km kabelového.

Pro výpočet kapacitního proudu bylo uvažováno 0,1 A/km u venkovního vedení a 3 A/km u kabelového vedení, potom požadované kapacitní proudy jsou:

$$I_{(0)\text{sit\_vyp}} = 0,1 \cdot 229,93 + 3 \cdot 9,194 = 50,575 \text{ A} \quad (6.5)$$

$$I_{(0)\text{vyvodA\_vyp}} = 0,1 \cdot 105,957 + 3 \cdot 1,435 = 14,9 \text{ A} \quad (6.6)$$

$$I_{(0)\text{vyvodB\_vyp}} = 0,1 \cdot 39,924 + 3 \cdot 0,547 = 5,63 \text{ A} \quad (6.7)$$

V použité diplomové práci [22] ale byla zadaná hodnota proudu 78,3 A, na kterou byla při simulaci naladěna zhášecí tlumivka. Tento proud odpovídá celkovému kapacitnímu proudu soustavy, a proto může být použit pro simulaci. Potom pro zachování poměrů kapacitních proudů vývodů A a B, vzhledem k celkovému zadanému kapacitnímu proudu, byl proveden přepočítání na hodnotu zadanou v diplomové práci.

$$k = \frac{I_{(0)\text{sit\_zad}}}{I_{(0)\text{sit\_vyp}}} = \frac{78,3}{50,575} = 1,55 \quad (6.8)$$

$$I_{(0)\text{vyvodA\_prep}} = k \cdot I_{(0)\text{vyvodA\_vyp}} = 1,55 \cdot 14,9 = 23,1 \text{ A} \quad (6.9)$$

$$I_{(0)\text{vyvodB\_prep}} = k \cdot I_{(0)\text{vyvodB\_vyp}} = 1,55 \cdot 5,63 = 8,7 \text{ A} \quad (6.10)$$

PTP – V simulované síti ve [22] byl nastaven převod PTP 300/5. Při použití 1 A vstupů u testované ochrany je pro zachování stejného převodu nastaveno 60/1.

Tab. 6-7: Obecné parametry

Podmínka spuštění	Okamžitě
Čas selhání	0,5 s
Trvání selhání	3 s

Čas selhání – Čas vzniku zemního spojení v poruchovém záznamu je 0,5 s, ale připnutí pomocného odporníku nastalo o dalších 0,5 s později. V síťovém simulátoru OMICRON není možné nastavit připnutí pomocného odporníku se zpožděním, proto byl čas vzniku poruchy nastaven na 0,5 s.

### 6.3 Naměřené poruchové záznamy

V následující kapitole jsou zobrazeny výsledky zaznamenaných poruch při ZS, které byly prohlíženy v aplikaci PlotXWin.

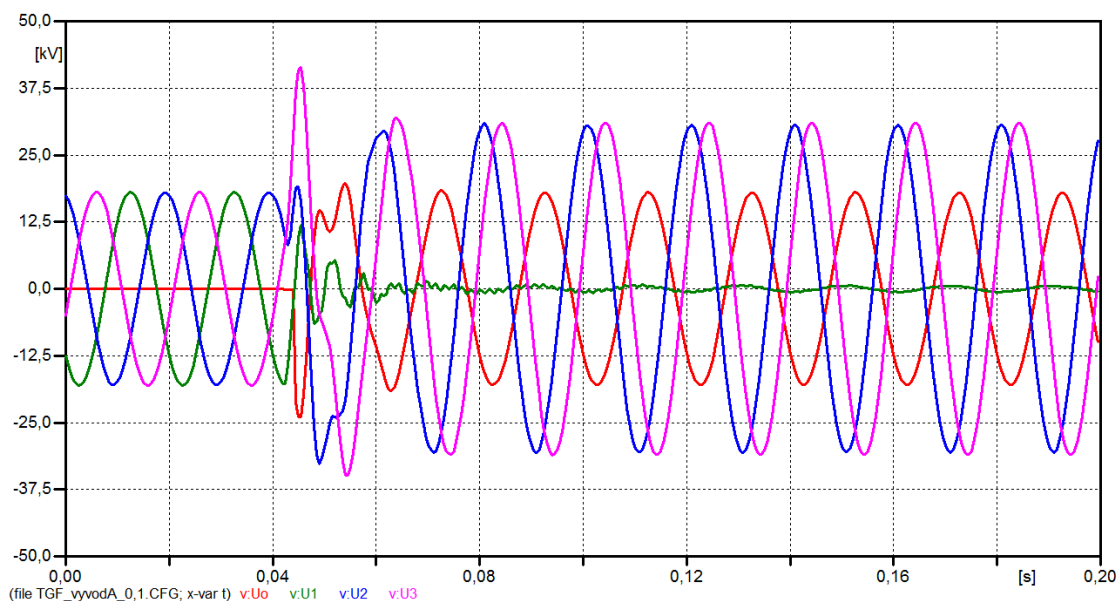
Seznam souborů s poruchovými záznamy a jejich vysvětlení:

- TGF\_vyvoda\_0,1.CFG (relé na vývodu A, odpor poruchy 0,1 Ω)
- TGF\_vyvodaB\_0,1.CFG (relé na vývodu B, odpor poruchy 0,1 Ω)
- TGF\_vyvoda\_83.CFG (relé na vývodu A, odpor poruchy 83 Ω)
- TGF\_vyvodaB\_83.CFG (relé na vývodu B, odpor poruchy 83 Ω)
- TransPlay\_vyvodaB\_0,1.CFG (TGF\_vyvodaB\_0,1.CFG přehraný v TransPlay)

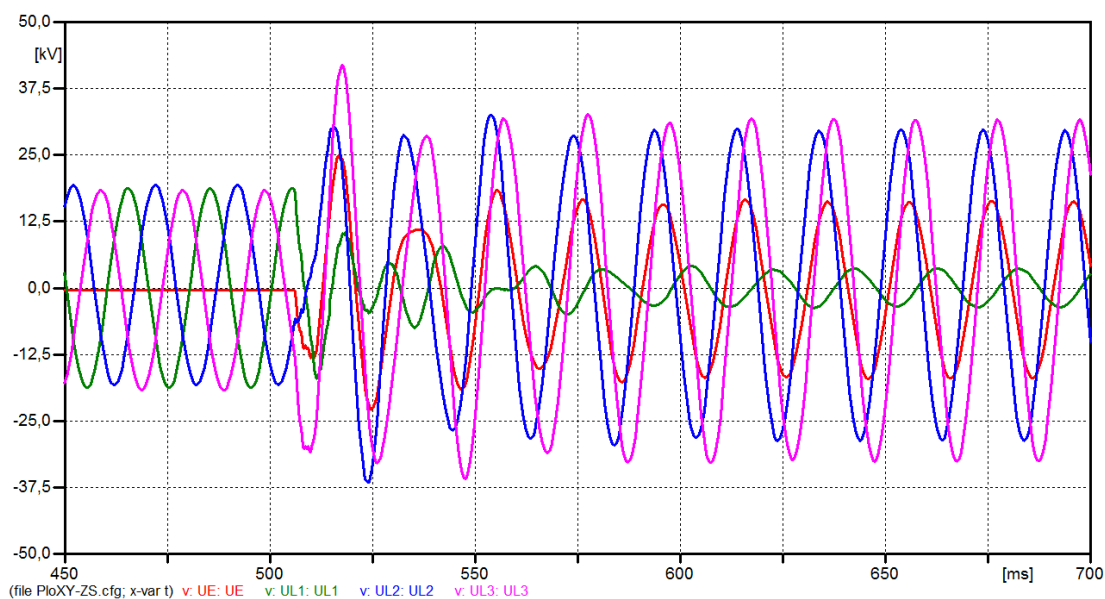
- PloXY-ZS.cfg (poruchový záznam převzatý z [22], odpor poruchy  $0 \Omega$  nebo  $500 \Omega$ )
- forward\_pripojnice.CFG (operation direction forward, uzel PTP směrem do přípojníc, relé na vývodu A, odpor poruchy  $0,1 \Omega$ )
- reverse\_vedeni.CFG (operation direction reverse, uzel PTP směrem do vedení, relé na vývodu A, odpor poruchy  $0,1 \Omega$ )

### 6.3.1 Porovnání simulované poruchy a poruchového záznamu

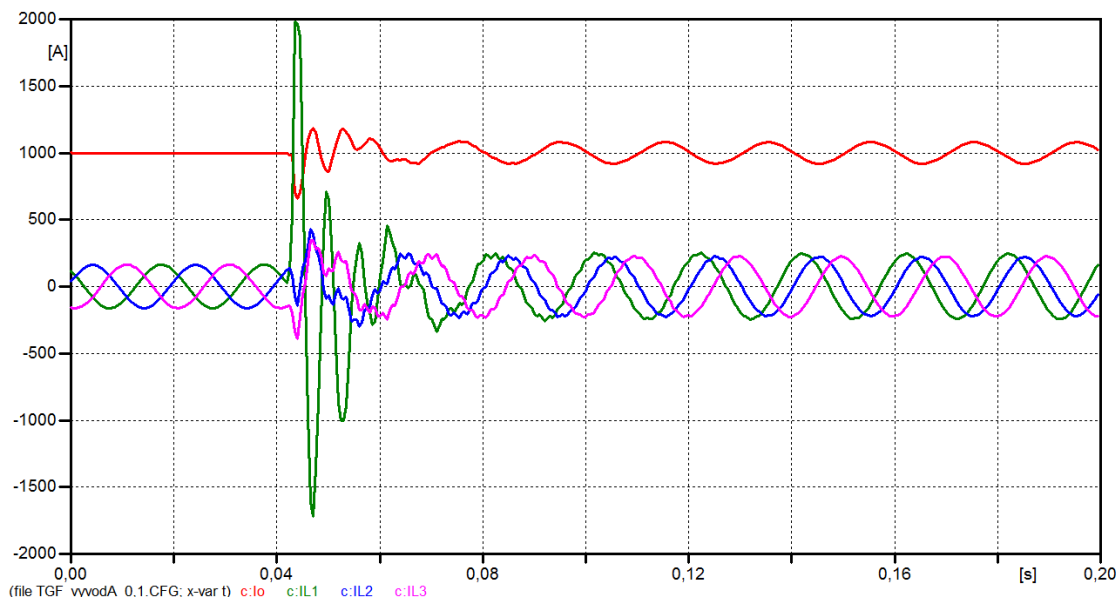
V následujících čtyřech obrázcích jsou uvedeny průběhy napětí a proudů poruchového záznamu (plotXY-ZS.cfg) z diplomové práce [22] se záznamem ze simulované sítě (TGF\_vyvoda\_0,1.CFG), u které byly nastaveny shodné parametry (viz kapitola 6.1.2).



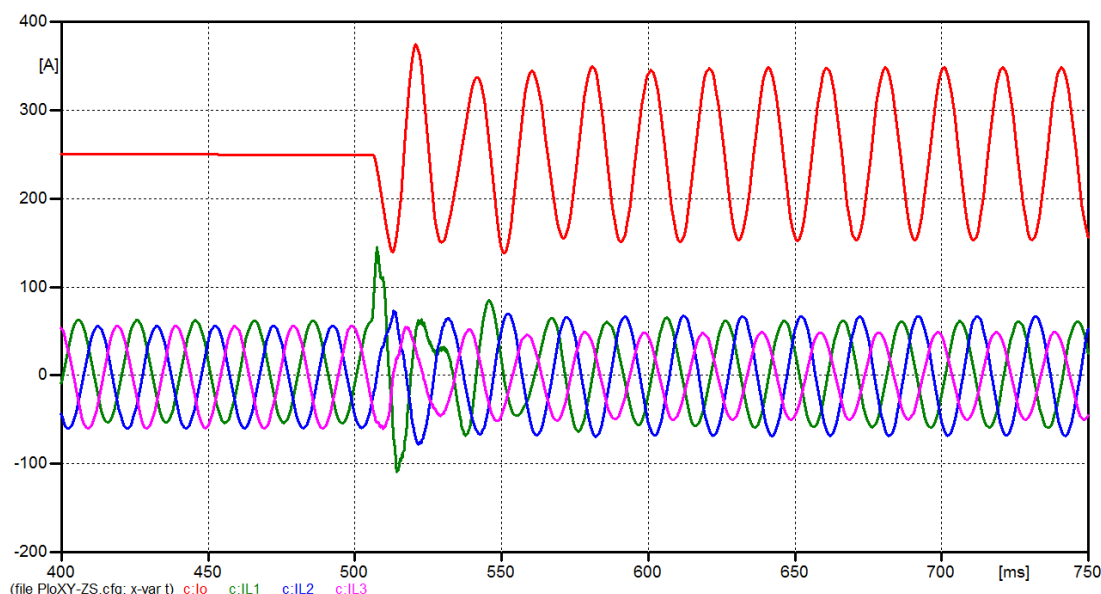
Obr. 6-3: Průběhy napětí při ZS (simulovaná síť,  $0,1 \Omega$ )



Obr. 6-4: Průběhy napětí při ZS (diplomová práce [22],  $0 \Omega$ )



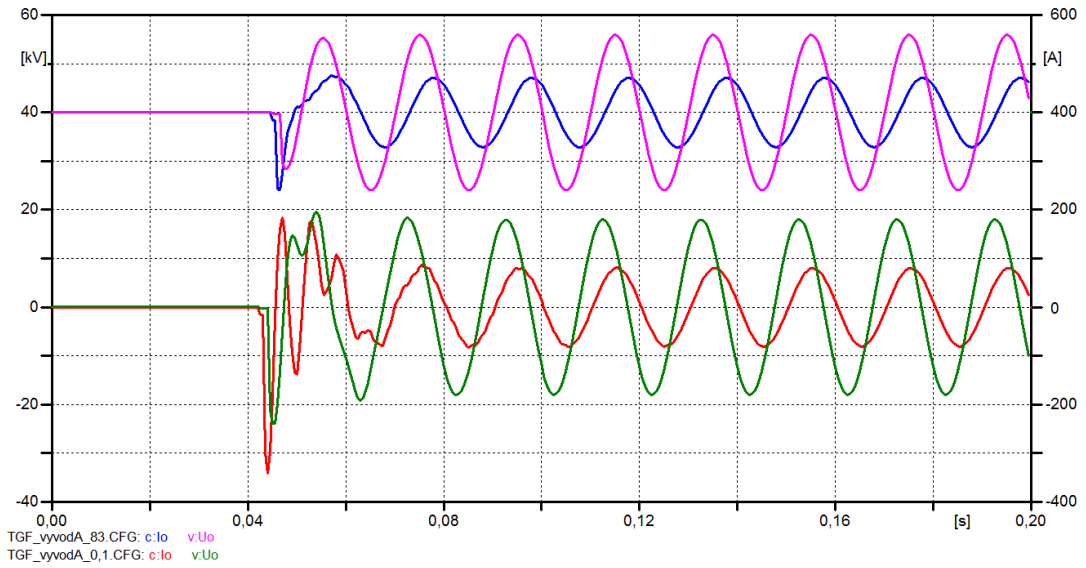
Obr. 6-5: Průběhy proudů při ZS (simulovaná síť 0,1 Ω)



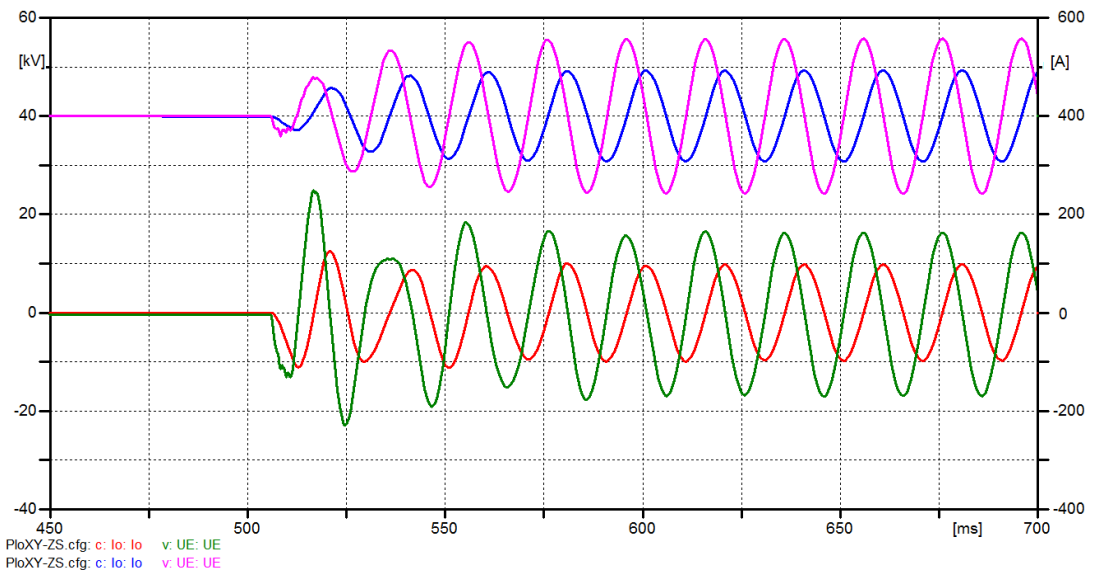
Obr. 6-6: Průběhy proudů při ZS (diplomová práce [22], 0 Ω)

Při měření v simulované síti byl nastaven opačný směr uzlu PTP a směr působení ochrany než v záznamu v diplomové práci [22]. Proto, aby bylo možné záznamy lépe porovnat, byla netočivá složka napětí v aplikaci PlotXWin vynásobena -1. Vliv zapojení uzlu PTP a směr působení ochrany je blíže popsán v kapitole 6.3.3

V další části této kapitoly jsou uvedeny průběhy netočivé složky napětí a proudů pro dva různé odpory poruchy. Na Obr. 6-7 jsou průběhy simulované sítě, kde v horní části obrázku je odporová porucha s odporem 83 Ω a v dolní části kovová porucha s odporem 0,1 Ω. Adekvátně k tomu jsou na Obr. 6-8 zobrazeny průběhy poruchového záznamu z [22], kde je stejně jako v simulované síti v horní části odporová porucha s odporem 500 Ω a v dolní části kovová porucha s odporem 0 Ω.

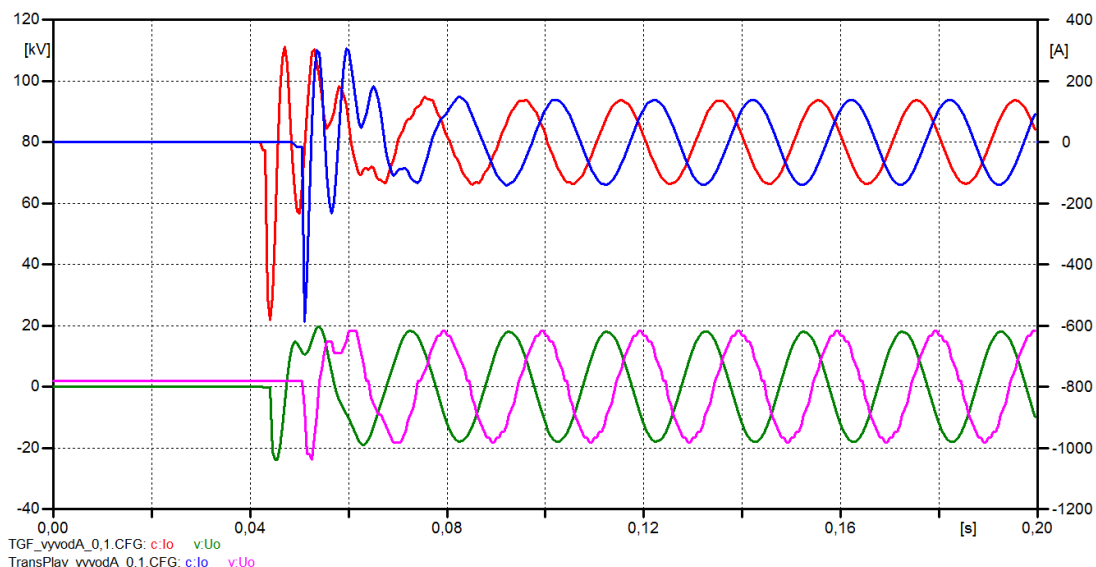


Obr. 6-7: Porovnání ZS s rozdílnou velikostí odporu poruchy (simulovaná síť)



Obr. 6-8: Porovnání ZS s rozdílnou velikostí odporu poruchy (diplomová práce [22])

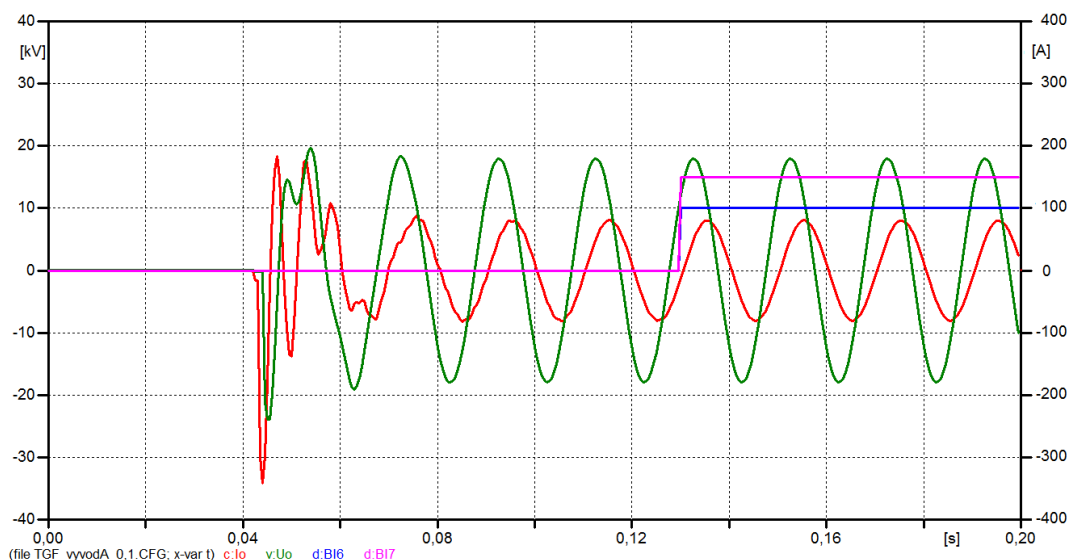
V poslední části této kapitoly se porovnává poruchový záznam (TGF\_vyvodA\_0,1.CFG) ze simulované sítě, který se přehrál v modulu Advanced TransPlay.



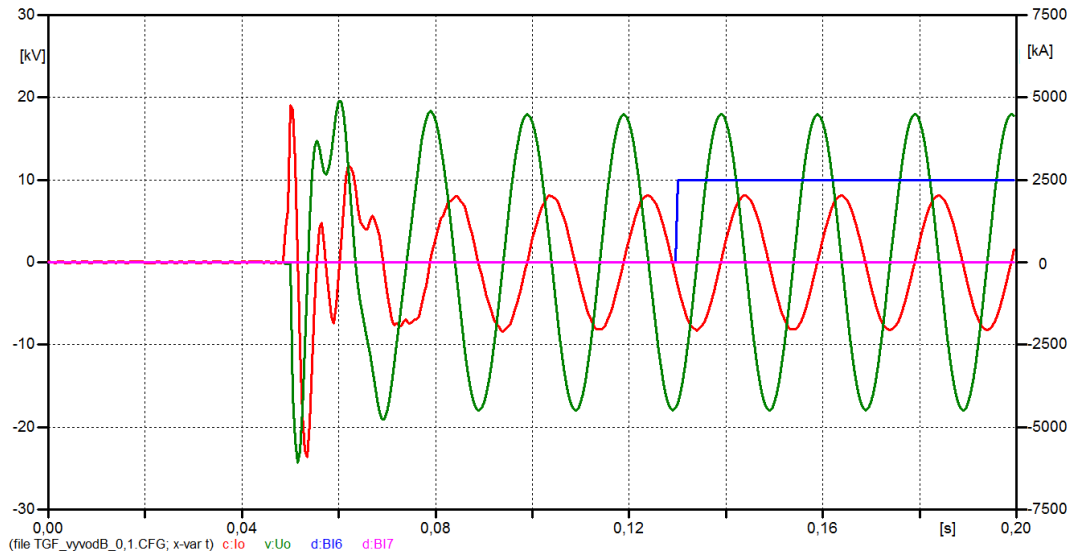
Obr. 6-9: Porovnání poruchového záznamu z Transient Ground Fault a Advanced TransPlay

### 6.3.2 Směrová a nesměrová ochranná funkce

Při testování směrové a nesměrové ochranné funkce se postupovalo tak, že byly provedeny dva testy. První test s ochranou na postiženém vývodu A, kde by měla zapůsobit jak nesměrová ochranná funkce NEF1 (BI6), tak i směrová ochranná funkce DEF2 (BI7). A druhý test s ochranou na nepostiženém vývodu B, kde by měla zapůsobit pouze nesměrová ochranná funkce NEF1 (BI6).



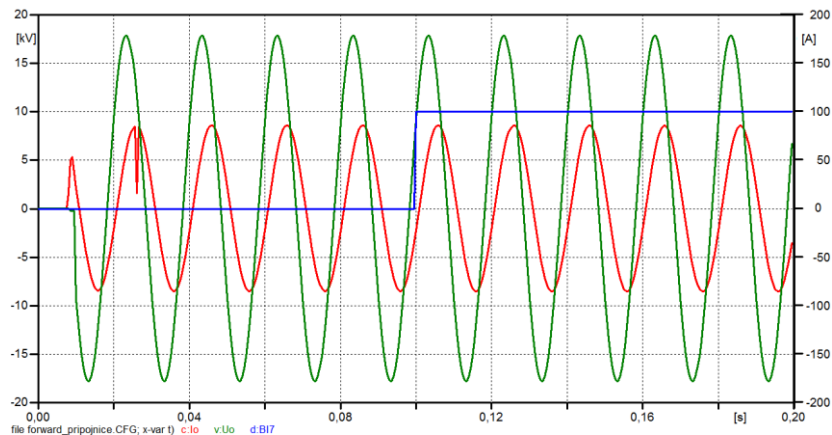
Obr. 6-10: Průběh netočivé složky napětí a proudu s ochranou na vývodu A



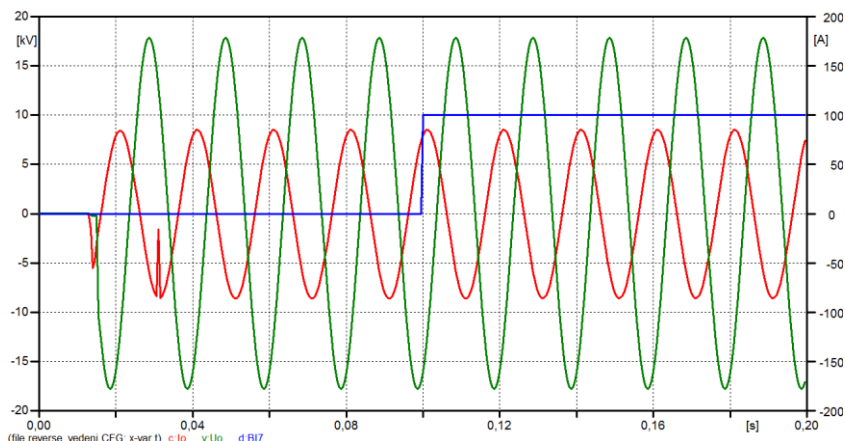
Obr. 6-11: Průběh netočivé složky napětí a proudu s ochranou na vývodu B

### 6.3.3 Vliv zapojení uzlu PTP

Následující dva poruchové záznamy jsou pořízeny s ochranným relé na vývodu A při odporu poruchy  $0,1 \Omega$ . Jediný rozdíl je v nastaveném uzlu PTP a směru působení ochranné funkce DEF2. Oba poruchové záznamy jsou tvořeny pouze ustálenou složkou po vzniku ZS. Pomocí kurzorů v programu PlotXWin bylo zjištěno, že na Obr. 6-12 je netočivá složka proudu vůči napětí opožděna o  $54^\circ$  a na Obr. 6-13 netočivá složka proudu předbíhá napětí o  $144^\circ$ .



Obr. 6-12: Netočivá složka napětí a proudu při uzlu směrem do přípojnic



Obr. 6-13: Netočivá složka napětí a proudu při uzlu směrem do vedení

## 7 ZÁVĚR

Teoretická část této bakalářské práce se věnuje distribuční soustavě a možnostem jejího provozu podle způsobu uzemnění uzlu transformátoru. Dále je podrobněji popsána kompenzovaná soustava, uzemněná přes zhášecí tlumivku, která se v ČR ve většině případů provozuje na napěťové hladině 22 kV.

V další části je definováno zemní spojení, které je z hlediska provozu vn distribučních sítí nejdůležitější. Jsou uvedeny druhy zemních spojení a nastíněno teoretické řešení nesouměrných poruch pomocí metody souměrných složek. Dále je podrobně popsáno rozložení napětí a proudů při zemním spojení, na postiženém i nepostiženém vývodu, a vysvětlen způsob vyhodnocení stavů vývodů ochranným relé. Pro porozumění provozu kompenzovaných soustav při zemním spojení je v práci pojednáno o zhášecí tlumivce, jejich pomocných systémech a způsobu ladění do stavu rezonance.

Poslední teoretická část se věnuje třídění ochran a popisu základních funkčních požadavků. Dále jsou uvedeny možnosti chránění při vzniku zemního spojení a možnosti vyhodnocení poruchy. Na závěr jsou uvedeny vhodné prostředky pro indikaci i lokalizaci poruchy a jsou představeny příklady detekčních metod.

První kapitola praktické části práce se zabývá seznámením s testovacím zařízením OMICRON CMC 256+ a s testovanou ochranou REM 534. Je popsán a vysvětlen postup nastavování OMICRONU, včetně softwaru Test Universe. Tento software obsahuje, při testování používané, testovací moduly Transient Ground Fault a Advanced TransPlay, které jsou blíže představeny. U testovaného zařízení REM 543 je názorně pojednáno o programu CAP 505, pomocí kterého se nahrávají požadované parametry do ochrany. V neposlední řadě je podrobně popsán způsob zapojení pracoviště, včetně schématu zapojení, které je uvedeno v příloze A.

V závěrečné praktické části jsou v tabulkách uvedeny nastavené parametry ochrany a je objasněn způsob určení parametrů simulované sítě. Dále jsou uvedeny obrázky s výsledky měření, které byly přehrány a vytvořeny v programu PlotXWin.

Přehráním napěťových průběhů ze simulované sítě (Obr. 6-3) a poruchového záznamu z [22] (Obr. 6-4) je vidět, až na napětí postižené fáze, vzájemná harmonie. Oproti tomu záznamy proudů (Obr. 6-5 a Obr. 6-6) jsou rozdílné, což mohlo být způsobeno nepřesným určením kapacitního proudu postiženého vývodu. Další odchylka při porovnávání záznamů byla v poruchovém záznamu z [22], kde chyběla činná složka v nulovém proudu, který byl pouze kapacitního charakteru, a proto také nezapůsobila směrová ochranná funkce DEF2. Navíc průběhy ze simulované sítě a z [22] nebylo možné kvůli rozdílným časovým osám porovnat v jednom grafu. Při porovnávání poruchových záznamů na Obr. 6-7 a Obr. 6-8 lze vidět, jak je velikostí odporu poruchy ovlivněn přechodový jev, který je u poruchy s větším odporem tlumen. Z poruchových záznamů na Obr. 6-9 lze vyčíst, že ze simulované sítě získaný poruchový záznam TGF\_vyvoda\_0,1.CFG, který byl následně přehrán v Advanced TransPlay, je o 126° zpožděný vůči původnímu.

Ze zaznamenaných poruch v kapitole 6.3.2 je patrné, že nesměrová ochranná funkce zapůsobila jak na postiženém, tak i na nepostiženém vývodu, ale směrová ochranná funkce zapůsobila pouze, v případě, když relé bylo na postiženém vývodu. Dále bylo potvrzeno, že vypnutí ochrany, tj. Trip BI6 a BI7, nastane téměř 0,1 s po vzniku zemního spojení, což odpovídá času nastavenému v Operate time. Nicméně čas vzniku ZS neodpovídá nastavenému času,



protože poruchový zapisovač začal zaznamenávat záznam podle vlastního času spuštění. Na obrázcích 6-10 a 6-11 se můžeme prostřednictvím programu PlotXWin přesvědčit o správném fázovém posunu mezi netočivou složkou napětí a proudu, kde u postiženého vývodu je fázový rozdíl  $60^\circ$  a u nepostiženého vývodu je proud čistě kapacitní s fázovým rozdílem  $90^\circ$ .

Z obrázků 6-12 a 6-13 je vidět vliv zapojení uzlu PTP na fázový posun mezi netočivou složkou napětí a proudu. Na nepostiženém vývodu, kde směrová ochranná funkce DEF2 nepůsobí, je posun vždy  $90^\circ$ . Na postiženém vývodu, kde ochranná funkce DEF2 působí, naměříme při zapojení uzlu do vedení a směru ochrany reverse fázový rozdíl  $144^\circ$ , a při zapojení uzlu do přípojníc a směr ochrany forward fázový rozdíl  $54^\circ$ . Proto, aby bylo možné lépe porovnat dva průběhy s naměřeným rozdílným zapojením uzlu PTP, je možné vynásobením jednoho z nich zápornou hodnotou tyto průběhy synchronizovat.

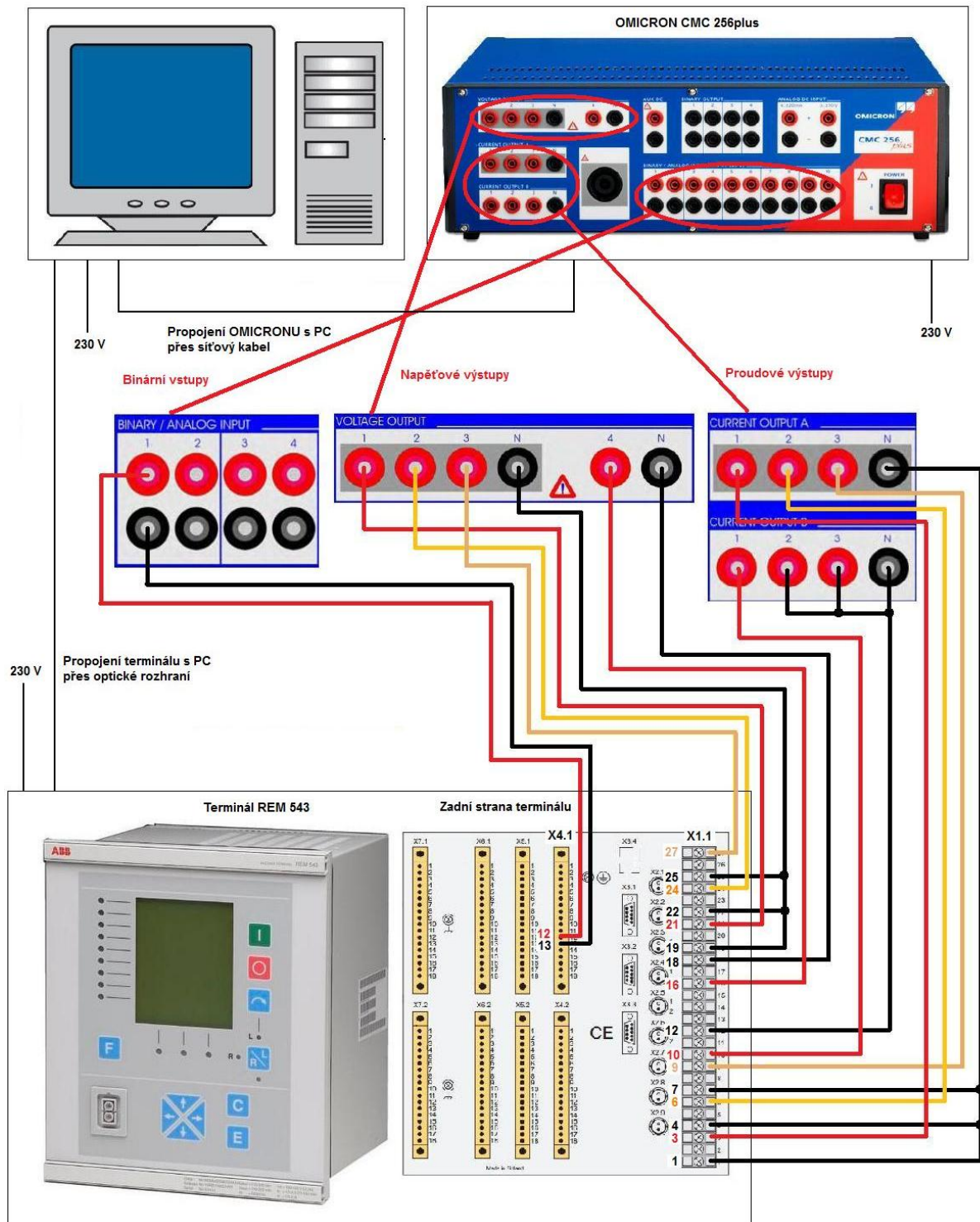
Tato bakalářská práce se věnovala problematice kompenzovaných soustav a testování ochranného relé při vzniku zemního spojení. V práci byl také uveden důkladný návod na zapojení a nastavení pracoviště pro testování ochrany, který může v budoucnu sloužit pro přípravu laboratorní úlohy.

**POUŽITÁ LITERATURA**

- [1] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 263 s. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [2] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*, VUT v Brně, 2011, 145 s.
- [3] TESAŘOVÁ, Miloslava. *Průmyslová elektroenergetika*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 154 s. ISBN 80-7082-703-3.
- [4] *Zemní spojení v trojfázových soustavách*. [online]. 25 s. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://www.powerwiki.cz/attach/ES/ZemniSpojeni.pdf>.
- [5] DOHNÁLEK, Petr. *Provoz a údržba ochranných zařízení v energetice*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989, 305 s.
- [6] BLAŽEK, Vladimír. *Distribuce elektrické energie*, VUT v Brně, 2012. 138 s.
- [7] PANKRÁČ, Vítězslav. *Tlumivky v silnoproudé elektrotechnice - část 2: Často používané aplikace tlumivek v silnoproudé elektrotechnice*. In: [online]. Praha, 2010 [cit. 2012-12-10]. ISSN 1213-1539. Dostupné z: [www.elektrorevue.cz](http://www.elektrorevue.cz).
- [8] EGE, spol. s.r.o. *Zemní spojení v kompenzovaných sítích*. [online]. [cit. 2012-12-10]. Dostupné z: <http://www.ege.cz/index.php?docid=49&lang=CZ>.
- [9] ČSN 33 3070: *Kompenzace kapacitních zemních proudů v sítích vysokého napětí*, Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1. 1. 1979, s. 19.
- [10] HALUZÍK, Evžen. *Ochrany a jištění energetických zařízení*. VUT v Brně, 63 s.
- [11] JANÍČEK, František. *Digitální ochrany v elektrizační soustavě*. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2004, 360 s. ISBN 80-227-2135-2.
- [12] ABB s.r.o. *DEF2\_Directional Earth-Fault Protection* [online]. 1997, s. 33, 23.6.2005 [cit. 2013-01-10]. ID: 1MRS752300-MUM. Dostupné z: [http://webhotel2.tut.fi/units/set/research/adine/tiedostot/Manuaalit/DEF2\\_h.pdf](http://webhotel2.tut.fi/units/set/research/adine/tiedostot/Manuaalit/DEF2_h.pdf)
- [13] ABB s.r.o. *Terminál vývodového pole: Technický referenční manuál, Všeobecný popis*. [online]. 1997, ID: 1MRS756343, s. 132, 21.10.2010 [cit. 2013-01-10]. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/e868d841bb0376d4c12577c900290f48/\\$file/REF54\\_tech\\_756343\\_CZd.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/e868d841bb0376d4c12577c900290f48/$file/REF54_tech_756343_CZd.pdf)
- [14] OMICRON electronics. [online]. [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.omicron.at/en/products/pro/secondary-testing-calibration/sw/protection/>
- [15] OMICRON electronics. *CMC 256: Referenční příručka* [online]. 2007, s. 173, [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://ebookbrowse.com/cmc-256-3-cz-pdf-d136198632>
- [16] OMICRON electronics. *Advanced protection CZ: Uživatelská příručka*. [online]. 2001, s. 113, [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://ebookbrowse.com/omicron-advanced-protection-cz-pdf-d136198631>
- [17] OMICRON electronics. *Testing Solutions for Protection and Measurement Systems: Product catalog*. [online]. 2013, s. 64, [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: [http://www.omicron.at/fileadmin/user\\_upload/files/pdf/en/CM-Line-Catalog-ENU.pdf](http://www.omicron.at/fileadmin/user_upload/files/pdf/en/CM-Line-Catalog-ENU.pdf)
- [18] ABB s.r.o. *Machine Terminal REM 54\_: Technical Reference Manual, General*. [online]. 1998, ID: 1MRS750915-MUM, s. 104, 25.10.2010 [cit. 2013-4-25]. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/8fc84dfe9d2058f9c12577c9002b74b1/\\$file/REM54\\_tech\\_750915\\_ENn.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/8fc84dfe9d2058f9c12577c9002b74b1/$file/REM54_tech_750915_ENn.pdf)

- 
- [19] ABB s.r.o. *CAP 505: User's Guide*. [online]. 2002, ID: 1MRS752292-MUM, s. 110, 7.2.2006 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z:  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/942cdb4bf0f24bf4c125710e0043e84d/\\$file/cap505\\_ug\\_752292\\_ENn.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/942cdb4bf0f24bf4c125710e0043e84d/$file/cap505_ug_752292_ENn.pdf)
- [20] ABB s.r.o. *Terminál vývodového pole REF 54\_ : Technický Referenční manuál, Všeobecný popis*. [online]. 1997, ID: 1MRS756343, s. 132, 21.10.2010 [cit. 2013-25-04]. Dostupné z:  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/e868d841bb0376d4c12577c900290f48/\\$file/REF54\\_tech\\_756343\\_CZd.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/e868d841bb0376d4c12577c900290f48/$file/REF54_tech_756343_CZd.pdf)
- [21] ABB s.r.o. *MEDREC16: Transient Disturbance Recorder*. [online]. 1998, ID: 1MRS752341-MUM, s. 24, 13.2.2002.
- [22] BAŽATA, P. *Generování transientního signálu pro účely testování ochran a indikátorů poruch*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 86 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Topolánek.

## Příloha A – Schéma zapojení pracoviště [18], [15]



**Příloha B** – Tabulka s parametry úseků lan vývodu Kasejovice [22]

Vodič	Rezistance [ $\Omega/\text{km}$ ]	Reaktance [ $\Omega/\text{km}$ ]	Délka [km]
AlFe6-120	0,225	0,378	7,628
AlFe6-95	0,301	0,388	2,819
AlFe6-70	0,434	0,400	7,527
AlFe6-50	0,615	0,411	1,000
AlFe6-35	0,778	0,418	1,300
AXE-120	0,253	0,126	1,000
AF42/7	0,687	0,404	1,297
Součet [ $\Omega$ ]	8,60	8,59	



Příloha D – Svorkovnicové schéma terminálu REM 543 [18]

