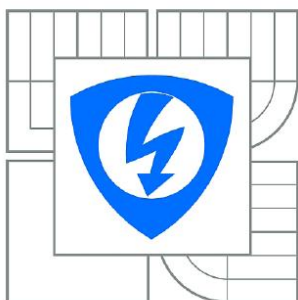


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

TESTOVÁNÍ DISTANČNÍ OCHRANY

TESTING OF DISTANCE PROTECTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

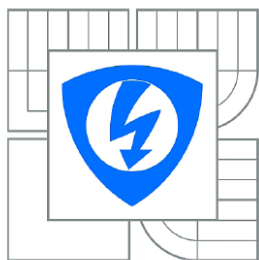
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN HOLUB

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAVA ORSÁGOVÁ,
Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Martin Holub

Ročník: 3

ID: 125223

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Testování distanční ochrany

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Princip činnosti distanční ochrany, impedanční charakteristiky.
2. Digitální distanční ochrany, jejich přínos, možnosti nastavení.
3. Návrh vhodné metodiky pro měření vypínací charakteristiky.
4. Praktická aplikace metody a výsledky měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 25.5.2012

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

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:

HOLUB, M. Testování distanční ochrany. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2012, 66 stran.

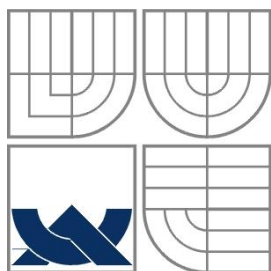
Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících 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 chci na tomto místě poděkovat vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Jaroslavě Orságové, Ph.D. za její odborné vedení, cenné rady, připomínky a za ochotu pomoci při vypracování mé práce.

Dále chci poděkovat panu Milanu Haukvicovi, techniku v oboru ochran, automatik a HDO, E.ON Česká republika, s.r.o., za cenné odborné rady, za ochotu pomoci a vynaložený čas.

Na závěr chci poděkovat mým rodičům za jejich podporu po dobu mého studia.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky**

Bakalářská práce

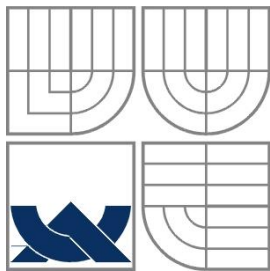
Testování distanční ochrany

Martin Holub

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

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2012

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering

Bachelor's Thesis

Testing of Distance Protection

by

Martin Holub

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

Brno University of Technology, 2012

Brno

ABSTRAKT

Bakalářská práce testování distanční ochrany nás seznámí s problematikou distanční ochrany a jejím podrobným principem. Zabývá se jejími jednotlivými členy a ukáže nám různé druhy impedančních charakteristik měřicích členů. Je zde popsána situace, která nastává při zkratu na homogenním vedení, dále nás seznámí s kompenzací stejnosměrné složky, probere stupně působení distanční ochrany a její vazby. Mimo jiné se zabývá digitálními distančními ochranami a nastavením jejich charakteristik. Na závěr teoretické části jsou zhodnoceny výhody oproti jiným ochranám a výhody a nevýhody distančních ochran samotných.

Práce nás seznámí s digitální distanční ochranou REL 511 od společnosti ABB a charakterizuje její nastavení, parametry a propojení s testovacím zařízením OMICRON CMC 256plus, které při našem měření slouží k ovládání ochrany přes osobní počítač. Následuje popis programů OMICRON Test Universe a CAP 540 a jejich nastavení. Tato část může sloužit jako manuál pro budoucí obsluhu ochrany REL 511.

Práce uvádí vhodnou metodiku pro měření vypínací charakteristiky a používá tuto metodu v praxi. Z důvodu omezené verze programu OMICRON Test Universe jsou měřeny vypínací časy polygonálních vypínacích charakteristik v modulu „Distance“ pomocí bodového testu. V závěru je uvedeno zhodnocení měření.

KLÍČOVÁ SLOVA: Distanční ochrana; impedanční charakteristika; testování distanční ochrany; digitální distanční ochrana; REL 511; OMICRON CMC 256plus; OMICRON Test Universe

ABSTRACT

Bachelor thesis Testing of Distance Protection introduces us to the issue of distance protection and its detailed principle. It deals with its individual elements and shows us different types of impedance characteristics of measuring elements. It describes a situation that occurs during a short circuit on a homogeneous line, then introduces us to a DC component compensation and discuss the effect of distance protection degrees. Among other things, it deals with the digital distance protections and settings of their characteristics. Finally the theoretical part evaluates advantages over other protections and advantages and disadvantages of distance protections themselves.

Thesis will introduce the digital distance protection REL 511 from the company ABB and characterizes its settings, parameters and connection to the testing equipment OMICRON CMC 256plus, which is used to control the protection via personal computer. Description of the programs OMICRON Test Universe and CAP 540 and their settings follows. This section can serve as a manual for future operators of REL 511 protection.

The work provides a suitable methodology for measuring the operating characteristics and uses this method in practice. Given the limited version of the OMICRON Test Universe, polygonal tripping characteristics are measured in the module "Distance" with the shot test. Evaluation of measurements is summarized at the end.

KEY WORDS:

Distance protection; impedance characteristic; Testing of distance protection; Digital distance protection; REL 511; OMICRON CMC 256plus; OMICRON Test Universe

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	12
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	13
1 ÚVOD	15
2 OBECNÉ ROZDĚLENÍ OCHRAN	16
2.1 ČLENĚNÍ OCHRAN PODLE RŮZNÝCH HLEDISEK	16
3 DISTANČNÍ OCHRANY	18
3.1 PRINCIP ČINNOSTI DISTANČNÍ OCHRANY	18
3.2 ČLENY DISTANČNÍCH OCHRAN.....	19
3.2.1 POPUDOVÝ (ROZBĚHOVÝ) ČLEN	19
3.2.2 MĚŘÍCÍ ČLEN.....	19
3.2.3 SMĚROVÝ ČLEN	20
3.2.4 ČASOVÝ ČLEN.....	20
3.2.5 LOGIKA	20
3.3 MĚŘÍCÍ ČLENY DISTANČNÍCH OCHRAN	20
3.3.1 IMPEDANČNÍ CHARAKTERISTIKY MĚŘÍCÍCH ČLENŮ.....	20
3.4 ZKRAT NA HOMOGENNÍM VEDENÍ	22
3.5 KOMPENZACE STEJNOSMĚRNÉ SLOŽKY.....	23
3.6 STUPNĚ PŮSOBNÍ OCHRANY	24
3.7 VAZBY DISTANČNÍCH OCHRAN.....	24
3.7.1 SYSTÉM STRHÁVÁNÍ	25
3.7.2 SYSTÉM UVOLŇOVÁNÍ	25
3.7.3 SYSTÉM BLOKOVÁNÍ.....	25
3.8 VÝHODY DISTANČNÍ OCHRANY OPROTI JINÝM OCHRANÁM	25
4 DIGITÁLNÍ OCHRANY.....	26
4.1 DIGITÁLNÍ DISTANČNÍ OCHRANY.....	26
4.1.1 ALGORITMY PROGRAMŮ DISTANČNÍCH OCHRAN	26
4.1.2 ROZBĚHOVÉ (POPUDOVÉ) ČLENY DISTANČNÍ OCHRANY	31
4.1.3 IMPEDANČNÍ CHARAKTERISTIKA ROZBĚHOVÝCH ČLENŮ	32
4.2 VÝHODY A NEVÝHODY DISTANČNÍCH OCHRAN.....	32
5 POSTUP NASTAVENÍ DIGITÁLNÍ DO REL 511	33
5.1 DISTANČNÍ OCHRANA VEDENÍ REL 511	33
5.1.1 TECHNICKÁ DATA	34
5.1.2 ELEKTRICKÉ PŘIPOJENÍ.....	34
5.1.3 MÍSTNÍ KOMUNIKACE S OCHRANOU POMOCÍ MÍSTNÍ OVLÁDACÍ JEDNOTKY	35
5.2 TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ OMICRON CMC 256PLUS.....	37
5.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ DO REL 511 PRO MĚŘENÍ	37
5.4 NAPÁJENÍ.....	38
5.5 KOMUNIKACE.....	39
5.5.1 PŘEDNÍ KOMUNIKACE	39

5.6 KONFIGURACE	39
5.6.1 VYTVOŘENÍ PROJEKTU V CAP 540.....	40
5.7 PARAMETRY IMPEDANČNÍ CHARAKTERISTIKY	44
5.8 NASTAVENÍ HARDWARU	47
5.9 KONSTRUKCE IMPEDANČNÍ CHARAKTERISTIKY	49
5.10 MODUL DISTANCE	53
5.10.1 PRODLOUŽENÍ ČASU MAXIMÁLNÍHO SELHÁNÍ.....	54
5.11 VYPNUTÍ NADPROUDOVÉ OCHRANY	55
6 MĚŘENÍ DISTANČNÍ OCHRANĚ REL 511.....	56
6.1 MĚŘENÍ A JEHO VÝSLEDKY	56
6.2 ZHODNOCENÍ MĚŘENÍ	58
7 ZÁVĚR.....	59
POUŽITÁ LITERATURA	60
PŘÍLOHA A - KONSTRUKCE ZÓN	61
PŘÍLOHA B - VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	64

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3-1: Selektivní vypínání distančních ochran.....	18
Obr. 3-2: Princip působení distanční ochrany.....	19
Obr. 3-3: Impedanční charakteristika.....	20
Obr. 3-4: Charakteristika „offset mho“.....	20
Obr. 3-5: Charakteristika „polarized mho“.....	21
Obr. 3-6: Reaktanční charakteristika.....	21
Obr. 3-7: Odporová charakteristika.....	21
Obr. 3-8: Směrová charakteristika.....	21
Obr. 3-9: Polygonální impedanční charakteristika DO REL 511 od firmy ABB [10].....	21
Obr. 3-10: Impedanční charakteristika vedení [1].....	22
Obr. 3-11: Modelová impedance.....	23
Obr. 4-1: Princip distanční číslicové ochrany [5].....	28
Obr. 4-2: Princip ochrany se vzorkováním [5].....	29
Obr. 4-3: Nastavení impedančního popudu ochrany [8].....	32
Obr. 5-1: Distanční ochrana vedení REL 511 od společnosti ABB.....	33
Obr. 5-2: Charakteristika impedančních měřících funkcí v REL 511 [10].....	34
Obr. 5-3: Zadní pohled na REL 511 [10].....	35
Obr. 5-4: Místní ovládací jednotka [10].....	35
Obr. 5-5: Sekundární tester OMICRON CMC 256+ [11].....	37
Obr. 5-6: Schéma zapojení DO REL 511.....	38
Obr. 5-7: Svorky stejnosměrného zdroje napájení TZ [11].....	38
Obr. 5-8: Pomocné stejnosměrné napětí 220 V.....	39
Obr. 5-9: Aktivace přední komunikace [10].....	39
Obr. 5-10: Přihlašovací obrazovka CAP 540.....	40
Obr. 5-11: Vytvoření nového projektu v CAP 540.....	40
Obr. 5-12: Uložení projektu v CAP 540.....	41
Obr. 5-13: Přidání zařízení do stromové struktury projektu.....	41
Obr. 5-14: Volba typu terminálu a hodnota úrovně přístupu do terminálu.....	42
Obr. 5-15: Úroveň přístupu do terminálu [10].....	42
Obr. 5-16: Spuštění Parameter Setting.....	43
Obr. 5-17: Načtení nastavení ochrany do CAPu.....	43
Obr. 5-18: Sekundární parametry zóny 1.....	44

Obr. 5-19: Založení nového testu v programu Test Universe	47
Obr. 5-20: Otevření nastavení Hardware Configuration	47
Obr. 5-21: Nastavení výstupních svorek v Hardware Configuration v záložce General.....	48
Obr. 5-22: Nastavení binárních vstupů v Hardware Configuration.....	48
Obr. 5-23: Otevření Test Objectu.....	49
Obr. 5-24: Nastavení parametrů měřicích transformátorů napětí a proudu	49
Obr. 5-25: Systémové nastavení v modulu distance.....	50
Obr. 5-26: Nastavení zóny 1.....	50
Obr. 5-27: Konstrukce zóny 1 pro mezifázové poruchy	51
Obr. 5-28: Konstrukce popudové zóny.....	52
Obr. 5-29: Nastavení všech zón	52
Obr. 5-30: Výsledná impedanční charakteristika	53
Obr. 5-31: Přidání modulu Distance	53
Obr. 5-32: Kontrola binárních vstupů v modulu Distance v Hardware Configuration.....	54
Obr. 5-33: Změna času maximálního selhání	54
Obr. 5-34: Vypnutí nadproudové ochrany	55
Obr. 6-1: Přidání bodu do impedanční charakteristiky	56
Obr. 6-2: Bodový test pro jednofázové zemní zkraty v L1 - N.....	57
Obr. A-1: Konstrukce zóny 1 pro jednofázové zemní poruchy.....	61
Obr. A-2: Konstrukce zóny 2 pro jednofázové zemní poruchy.....	61
Obr. A-3: Konstrukce zóny 2 pro mezifázové poruchy.....	62
Obr. A-4: Konstrukce popudové zóny pro jednofázové zemní poruchy	62
Obr. A-5: Konstrukce popudové zóny pro mezifázové poruchy	63

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 5-1: Vstupní veličiny, jmenovité a limitní hodnoty pro naši DO REL 511 [10]</i>	34
<i>Tab. 5-2: Sekundární parametry zón 1-4</i>	45
<i>Tab. 5-3: Body v impedanční rovině impedanční charakteristiky</i>	45
<i>Tab. 6-1: Bodový test pro mezifázové poruchy v L1 - L2</i>	57
<i>Tab. 6-2: Bodový test pro jednofázové zemní poruchy v L1 - N</i>	58
<i>Tab. B-1: Bodový test pro jednofázové zemní poruchy v L2 - N</i>	64
<i>Tab. B-2: Bodový test pro jednofázové zemní poruchy v L3 - N</i>	64
<i>Tab. B-3: Bodový test pro mezifázové poruchy v L2 - L3</i>	65
<i>Tab. B-4: Bodový test pro mezifázové poruchy v L3 - L1</i>	65
<i>Tab. B-5: Bodový test pro mezifázové poruchy v L1 - L2 - L3</i>	66

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Veličina	Jednotka
$ARGLd$	úhel impedance zátěže	°
$DirZ1-4$	směrovost zón 1-4	-
DO	distanční ochrana	-
f	kmitočet	Hz
$f_{\text{vzorkování}}$	frekvence vzorkování	Hz
Fw	dopředný směr zóny impedanční charakteristiky	-
GFC	obecné kritérium poruchy	-
h_0	hraniční oblast	-
i	okamžitá hodnota proudu	A
i'	derivace okamžité hodnoty proudu	A
I	proud	A
I	komplexní proud	A
I_F	minimální poruchový proud	A
I_k	zkratový proud	A
I_m	amplituda proudu	A
I_p	provozní proud chráněného vedení	A
I_r	vstupní proud REL 511	A
k	převod měřících transformátorů	-
p	počet snímaných vzorků za periodu T	-
P_d	oblast zátěže	-
P_z	oblast působení	-
l	délka zkratového úseku vedení	km
L	indukčnost	H
LCD	displej z tekutých krystalů	-
LED	dioda emitující světlo	-
L_k	indukčnost na 1 km vedení	H/km
MMI	místní ovládací jednotka	-
MTN	měřicí transformátor napětí	-
MTP	měřicí transformátor proudu	-
n	počet vzorků	-
PC	osobní počítač	-
R	odpor	Ω
R_a	činný odpor	Ω
R_{A1}	nastavení mezifázového zkratu	Ω
R_{A1E}	nastavení zemního zkratu	Ω
R_k	odpor na 1 km vedení	Ω/km
R_o	odpor obloukových zkratů	Ω
$RFGFC$	odporový dosah pro vícefázové poruchy	Ω
$RFNGFC$	odporový dosah pro jednofázové zemní poruchy	Ω
$RFNZ1-4$	odpor poruchy (oblouku) pro jednofázové zemní poruchy - dosah zón 1-4	Ω
$RFZ1-4$	odpor poruchy (oblouku) pro mezifázové a třífázové poruchy - dosah zón 1-4	Ω
RLd	odporový dosah vztažený k minimálnímu odporu zátěže	Ω

R_v	zpětný směr zóny impedanční charakteristiky	-
$R0Z1-4$	nulová složka odporu - dosah zón 1-4	Ω
$R1Z1-4$	sousledná složka odporu - dosah zón 1-4	Ω
Timer $t1-4$	časový člen pro časové zpoždění působení distanční zóny 1-4	-
TZ	testovací zařízení	-
t_n	jmenovitá doba vypnutí	s
t_{skut}	skutečná doba vypnutí	s
t_0	vlastní čas působení ochrany	ms
t_{1-4}	časové zpoždění působení zóny 1-4	s
u	okamžitá hodnota napětí	V
u_k	měřené okamžité hodnoty napětí v intervalech Δt	V
$u_{lichý}$	okamžitá hodnota napětí měřená při průchodu proudu nulou	V
$u_{sudý}$	okamžitá hodnota napětí měřená při průchodu proudu maximem	V
u'	derivace okamžité hodnoty napětí	V
U	napětí	V
$\mathbf{U}$	komplexní napětí	V
U_{ak}	koefficient Fourierovy řady	V
U_{bk}	koefficient Fourierovy řady	V
U_k	napětí v místě ochrany	V
U_m	amplituda napětí	V
U_r	vstupní sdružené střídavé napětí REL 511	V
U_{rss}	vstupní pomocné stejnosměrné napětí REL 511	V
U_{ss}	stejnosměrná složka periodického signálu u	V
v	chráněný úsek	km
vn	vysoké napětí	kV
vvn	velmi vysoké napětí	kV
X	reaktance	Ω
$XGFCF_w$	reaktanční dosah v dopředném směru	Ω
$XGFCR_v$	reaktanční dosah ve zpětném směru	Ω
$X0GFCF_w$	nulová složka reaktance - nastavení dosahu v dopředném směru	Ω
$X0GFCR_v$	nulová složka reaktance - nastavení dosahu ve zpětném směru	Ω
$X1GFCF_w$	sousledná složka reaktance - nastavení dosahu v dopředném směru	Ω
$X1GFCR_v$	sousledná složka reaktance - nastavení dosahu ve zpětném směru	Ω
$X0Z1-4$	nulová složka reaktance - dosah zón 1-4	Ω
$X1Z1-4$	sousledná složka odporu - dosah zón 1-4	Ω
zvn	zvlášť vysoké napětí	kV
Z	impedance zkratové smyčky	Ω
$\mathbf{Z}$	komplexní impedance	Ω
Z_v	impedance chráněného úseku	Ω
$ Z $	absolutní hodnota impedance	Ω
φ	fázový posun	°
ω	úhlová rychlost	rad/s
Δt	časový koordinační interval	ms

1 ÚVOD

Neustále rostoucí požadavky na bezpečný a spolehlivý provoz elektrických částí elektráren, transformoven, přenosových a distribučních sítí, jako i ostatních elektrických zařízení, klade zvýšené nároky na elektrické ochrany. Jsme přímými účastníky budování informační společnosti, s tím významně souvisí nasazování nových informačních technologií do jednotlivých systémů elektroenergetiky.

Zatím neumíme provozovat elektrické zařízení tak, aby na nich nevznikaly poruchy. I když projektování, výroba, provoz, ale i spolehlivost těchto zařízení je vysoká, tato zařízení jsou ohrožována vnitřními a venkovními poruchami. Proto musí ochrany tyto poruchy řešit tak, aby zdravé části elektrizační soustavy mohly být dále provozovány a následky poruch se minimalizovaly.

Ochrana je přístroj, který slouží k zajištění provozní bezpečnosti a spolehlivosti elektrického zařízení v nenormálních (poruchových) provozních stavech. Je připojena k přístrojovým transformátorům proudu a napětí. Kontroluje chod chráněného objektu (generátoru, vedení, transformátoru apod.) a v případě poruchy působí například na vypínač nebo odbuzovač. Tato bakalářská práce o jedné takové ochraně pojednává, konkrétně ochraně distanční REL 511 od společnosti ABB.

Distanční ochrana je jedna z nejrozšířenějších ochran používaných v přenosových a distribučních sítích, u transformátorů s velkými výkony a u generátorů, kde se používá jako záložní. Základní požadavky kladené na moderní ochranu vedení jako rychlost, citlivost a selektivita se společně s požadavky na dostupnost stále zvyšují. Moderní digitální distanční ochrany musí být schopny pracovat společně se stávajícími elektromechanickými ochranami, a proto je velice důležitá jejich flexibilita [1], [7].

2 OBECNÉ ROZDĚLENÍ OCHRAN

Ochrana je zařízení, které má za úkol zajišťovat provozní bezpečnost a spolehlivost určité části energetického systému, např. generátoru, vedení, transformátoru apod. Ochrana musí rozlišit, je-li chráněný objekt v mezích normálního provozu, nebo zda se jedná o poruchu. V případě poruchy ochrana zamezuje poškození nebo zničení chráněného zařízení vypnutím, odbuzením apod.

Obvykle bývá chráněné zařízení vybaveno hned několika ochranami, z nichž každá působí při jiném typu poruch. Typy ochran určitého zařízení specifikují příslušné normy [3].

2.1 Členění ochran podle různých hledisek

- 1) typ chráněného objektu,
 - 2) druh poruchy,
 - 3) doba působení,
 - 4) princip ochrany,
 - 5) konstrukce ochrany.

- 1) Podle chráněného objektu rozlišujeme ochrany:
 - a) generátoru (bloku),
 - b) motoru (pohonu),
 - c) přípojníc,
 - d) transformátoru,
 - e) vedení (kabel, vzdušné vedení, trolej).

- 2) Podle druhu poruchy:
 - a) zkratové ochrany,
 - b) ochrany při přetížení,
 - c) přepětové ochrany,
 - d) podpětové ochrany,
 - e) frekvenční ochrany,
 - f) ochrany při nesymetrii,
 - g) zemní ochrany,
 - h) zpětné wattové ochrany,
 - i) ochrany při ztrátě buzení.

- 3) Podle doby působení:
 - a) mžikové - působí ihned při vzniku poruchy,
 - b) časově závislá - má dobu zpoždění odvozené z velikosti stavové veličiny,
 - c) časově nezávislá - má nastavenou konstantní dobu zpoždění.

- 4) Podle principu působení:
 - a) proudové,
 - b) napětové,
 - c) distanční,
 - d) rozdílové,

- e) srovnávací,
- f) směrové,
- g) wattové,
- h) jalové,
- i) frekvenční,
- j) ochrany při nesymetrii.

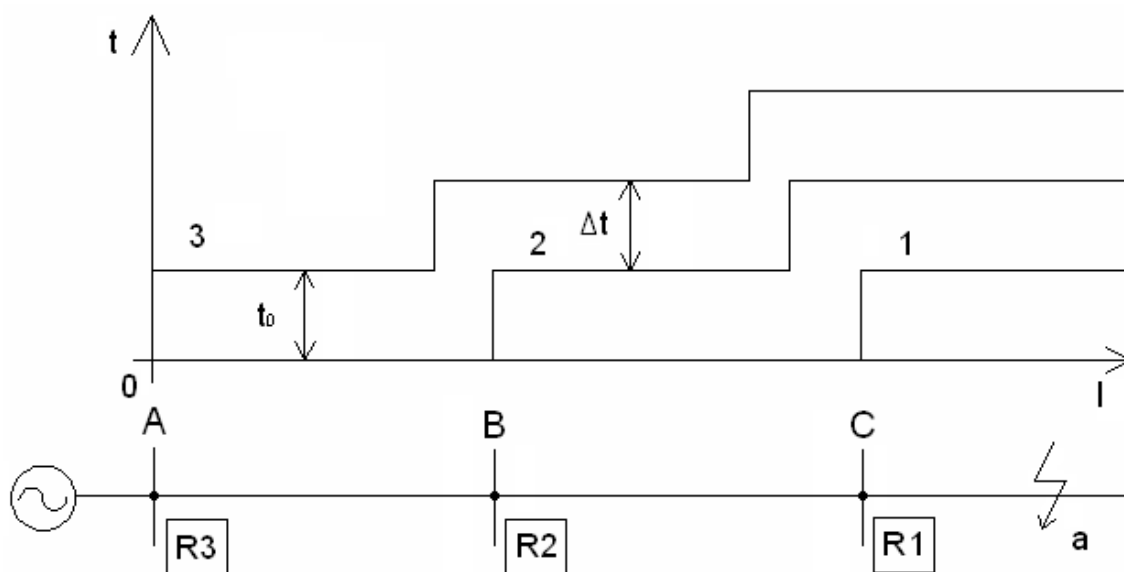
5) Podle konstrukce:

- a) elektromechanické - jsou sestaveny z klasických elektrických relé,
- b) tranzistorové - stavebními prvky jsou polovodičové součástky v analogové funkci,
- c) digitální - stavebními díly jsou digitální (číslicové) obvody.

3 DISTANČNÍ OCHRANY

Distanční ochrana je stále jedna z nejrozšířenějších ochran používaných v přenosových a distribučních sítích, u transformátorů s velkými výkony a u generátorů, kde se používá jako záložní. Patří mezi stupňové ochrany, které se vzájemně zálohují.

Distanční ochrana určuje poruchovou impedanci z poruchového napětí a proudu v místě instalace ochrany. Změřená poruchová impedance je poté porovnávána s vypínací charakteristikou. Jestliže je změřená impedance poruchové smyčky menší než nastavená hodnota, je rozpoznána porucha a je vyslán vypínací povel na vypínač. Při zkratu na vedení se uvede do chodu celá řada ochran ležících mezi zdrojem a místem zkratu. Vypínací charakteristika je zobrazena na Obr. 3-1.



Obr. 3-1: Selektivní vypínání distančních ochran

kde t_0 je vlastní čas působení ochrany, v praxi bývá u moderních ochran v rozmezí 10 až 50 ms, Δt je časový koordinační interval.

Nastane-li zkrat v místě **a** nabíhají postupně v tomto pořadí ochrany R1, R2, R3. Jako první vypíná tedy ochrana R1 v čase t_0 vypínač, který se nachází nejbližší zkratu. Selže-li R1, začne působit v čase Δt ochrana R2, která slouží jako hlavní ochrany pro úsek B-C a zároveň funguje jako ochrana záložní pro ochranu fungující před ní. Selže-li i R2, působí nakonec ochrana R3. Takto se navzájem zálohují, zároveň se však vypínací časy pro poruchy v chráněných úsecích směrem ke zdroji neprodlužují. Takto nastaveným časovým odstupňováním je zajištěna selektivita při vypínání zkratových poruch. Toto je základní výhoda při použití distančních ochran [5], [9].

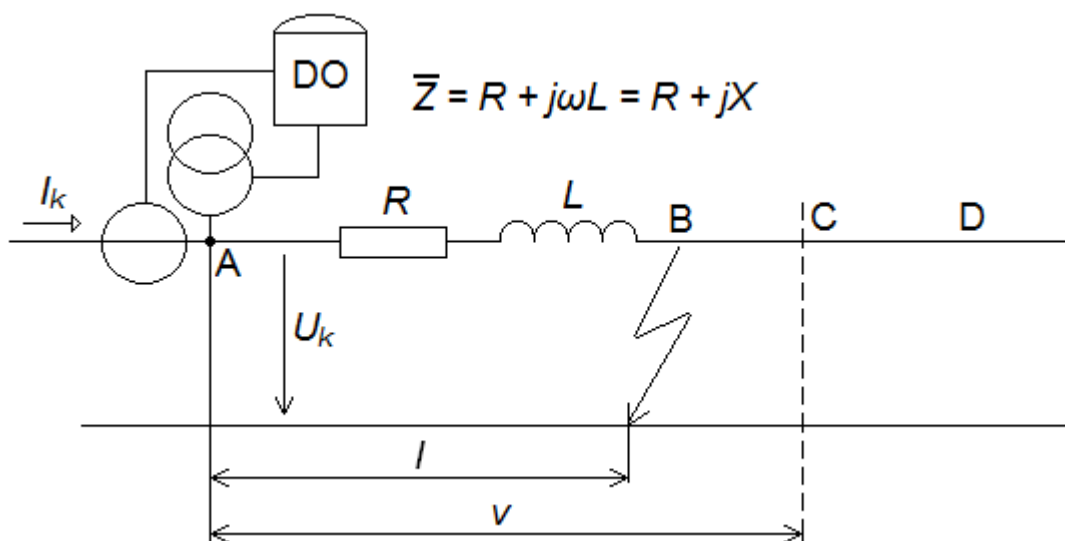
3.1 Princip činnosti distanční ochrany

Distanční (impedanční) ochrana využívá principu měření impedance zkratové smyčky. Připojení distanční ochrany k chráněnému objektu zařízení je znázorněno na Obr. 3-2. Ochrana měří velikost proudu a napětí v místě A. Obě veličiny jsou vázány vztahem

$$U_k = Z \cdot I_k \quad (V; \Omega, A) \quad (3.1)$$

kde U_k je napětí v místě ochrany,

Z je impedance zkratové smyčky,
 I_k je zkratový proud.



Obr. 3-2: Princip působení distanční ochrany

kde l je délka zkratového úseku vedení,

v je chráněný úsek,

DO je distanční ochrana.

Pro zkraty přesně na hranici chráněného úseku v místě C platí

$$U_k = Z_v I_k \quad (\text{V}; \Omega, \text{A}), \quad (3.2)$$

kde Z_v je impedance chráněného úseku. Ochrana působí tehdy, je-li napětí zkratové smyčky nižší, tj. při zkratech uvnitř chráněného úseku AC [1].

V případě ochrany vedení vymezuje impedanci úseku vedení, kde působí. Distanční ochrana se nazývá distanční proto, že zjišťuje impedanční vzdálenost (distanci) zkratu.

3.2 Členy distančních ochran

Činnost ochrany je dána funkcí jednotlivých členů, kterými je zpravidla vybavena [3], [5]:

3.2.1 Popudový (rozběhový) člen

V případě poruchy v dosahu ochrany o ní dává informaci logice a měřicímu členu distanční ochrany. Je nutno mít na zřeteli, že ne každá porucha může být odstraněna ochranou. O tom, zda příslušná porucha patří do kompetence distanční ochrany, rozhodnou teprve měřicí a logické obvody. Popudový člen pouze zaručí rozběh těchto obvodů. Může být nadproudový nebo impedanční.

3.2.2 Měřicí člen

V případě přijetí signálu z popudového členu a logiky se provede zhodnocení vstupních veličin a určí se, zda se jedná o poruchu v chráněné části úseku. Bývá realizován jako amplitudový či fázový komparátor anebo číslicově u digitálních ochran.

3.2.3 Směrový člen

Směrový člen určuje, zda zkrat leží ve směru působnosti ochrany.

3.2.4 Časový člen

Časový člen odměřuje zpoždění ochrany. Zpožděním je vyloučeno chybné působení ochrany na přechodnou poruchu krátkého trvání, případně je dána možnost působení jiným ochranám, v jejichž dosahu se porucha nachází.

3.2.5 Logika

Logika ochrany rozhoduje o vypnutí. Zpracovává signály popudového a měřicího členu, vysílá signál na časový člen a ovládací zařízení chráněného úseku, případně ovlivňuje funkci měřicího členu.

3.3 Měřicí členy distančních ochran

Na vstup měřicího členu distanční ochrany je přiveden proud I a napětí U v místě připojení ochrany, z těchto hodnot vyhodnocuje impedanci Z . Při jejím poklesu pod nastavenou hodnotu dává popud k vypnutí.

3.3.1 Impedanční charakteristiky měřicích členů

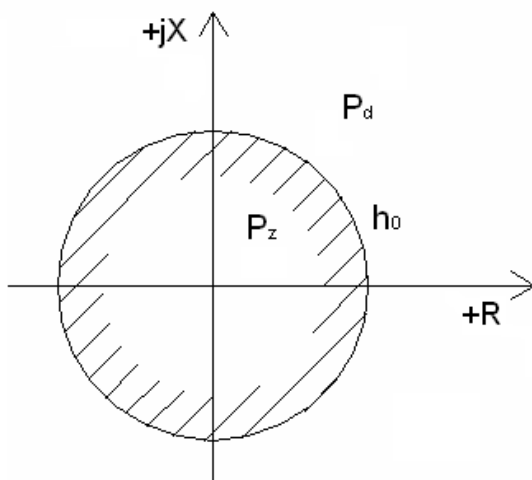
Nejpoužívanější tvary impedančních charakteristik měřicích členů jsou tyto [2], [5], [6]:

- impedanční s kruhovou charakteristikou ve středové poloze (Obr. 3-3),
- vysunutá charakteristika typu „offset mho“ (Obr. 3-4),
- charakteristika „polarized mho“ procházející počátkem (Obr. 3-5),
- reaktanční charakteristika (Obr. 3-6),
- odporová (rezistanční) charakteristika (Obr. 3-7),
- směrová přímková charakteristika procházející počátkem (Obr. 3-8),
- polygonální impedanční charakteristika digitální distanční ochrany (Obr. 3-9).

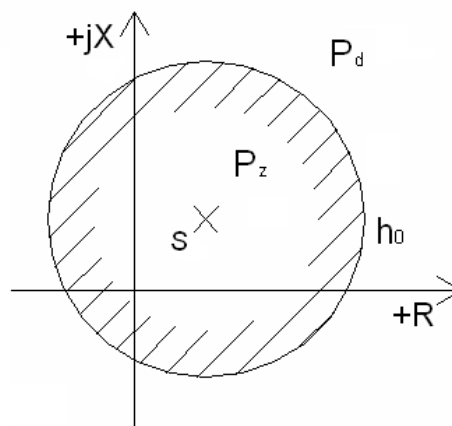
kde P_d je oblast zátěže

P_z je oblast působení

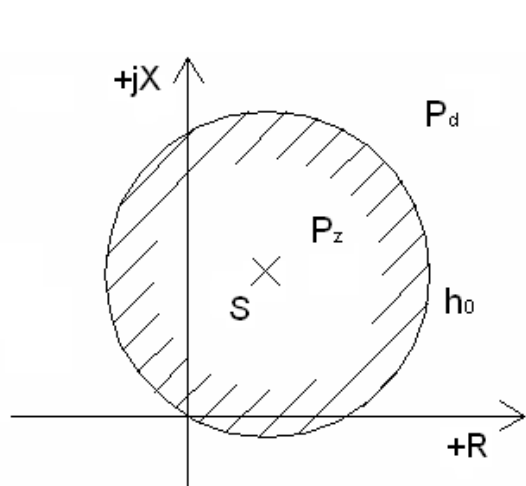
h_0 je hraniční oblast



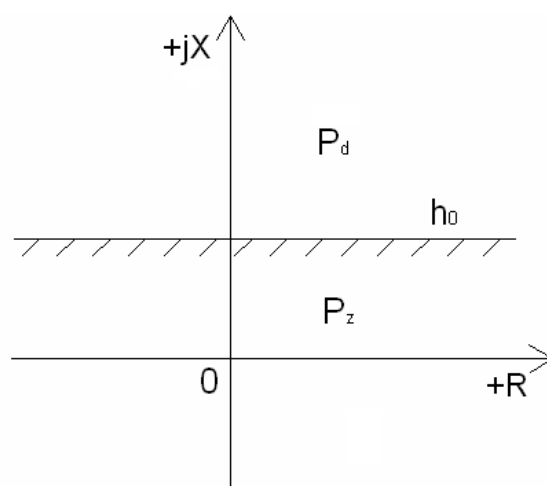
Obr. 3-3: Impedanční charakteristika



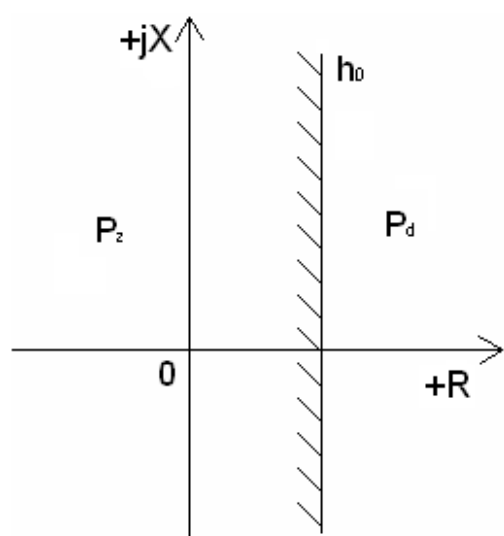
Obr. 3-4: Charakteristika „offset mho“



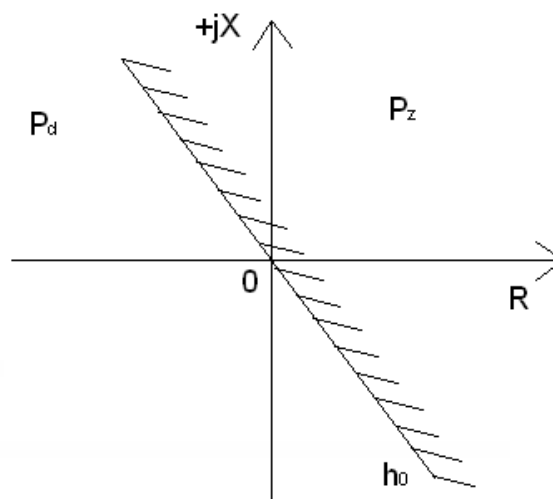
Obr. 3-5: Charakteristika „polarized mho“



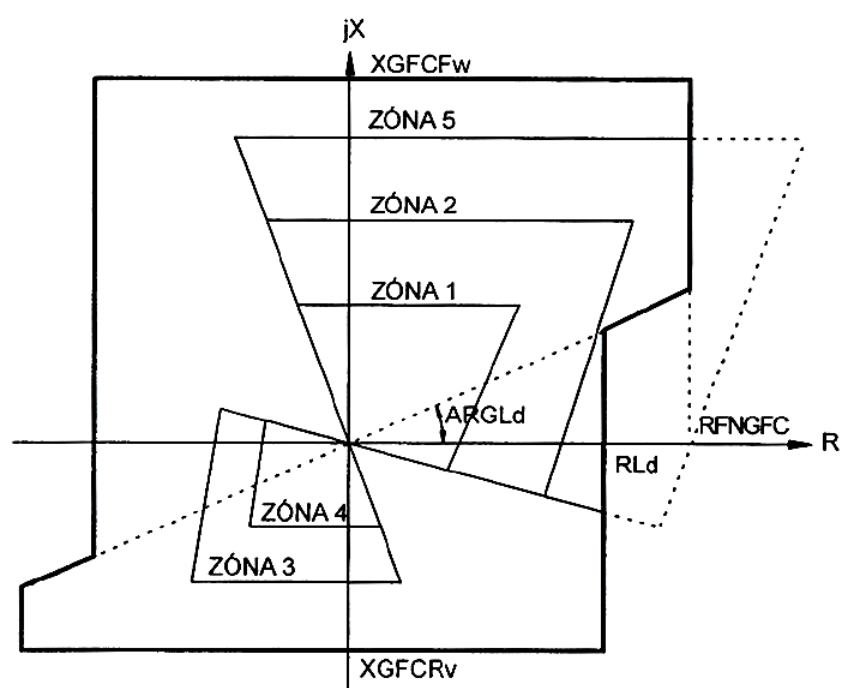
Obr. 3-6: Reaktanční charakteristika



Obr. 3-7: Odporová charakteristika



Obr. 3-8: Směrová charakteristika



Obr. 3-9: Polygonální impedanční charakteristika DO REL 511 od firmy ABB [10]

Při zkratu na homogenním vedení (Obr. 3-10) jsou indukční reaktance i odpor úměrné délce l vedení:

$$R = lR_k(\Omega; \text{km}, \Omega/\text{km}), \quad (3.4)$$

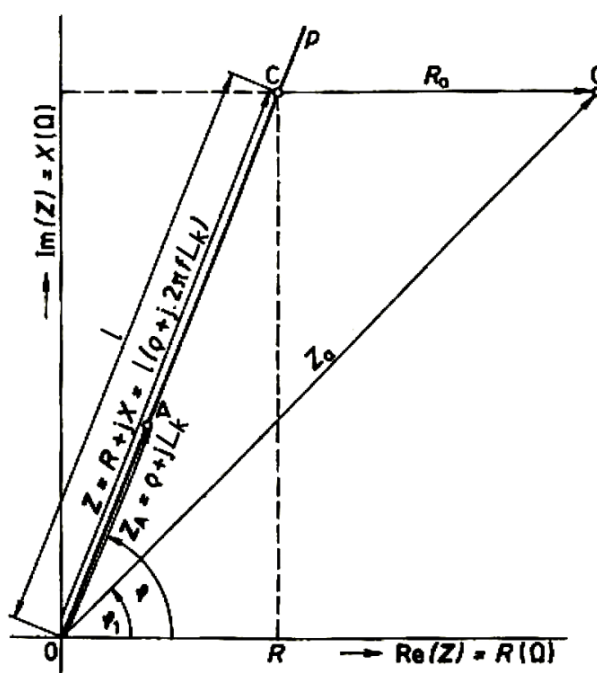
odtud dostáváme

$$\mathrm{tg} \varphi = \frac{X}{R} = \frac{2\pi f L_k}{l R_k} = \frac{\omega L_k}{R_k} = \text{konst.} \quad (3.5)$$

$$\varphi = \arctg \frac{\omega L_k}{R_k} \quad (3.6)$$

V případě kovového zkratu v bodě C má zkratová smyčka impedanci Z . Pokud se vyskytne při zkratu oblouk, má odporový charakter. Pak se v bodě C přičítá činná složka R_a a komplexor impedance Z_a zkratové smyčky se prodlouží. Jeho úhel se zmenší [1].

$$\varphi_1 < \varphi \text{ .} \tag{3.7}$$



Obr. 3-10: Impedanční charakteristika vedení [1]

3.5 Kompenzace stejnosměrné složky

Při odvozování základních rovnic měřicích členů jsme dosud uvažovali, že vstupní napětí a proudy jsou harmonického průběhu, odkud měřená impedance byla uvažována jako podíl fázorů, tj.

$$\mathbf{Z} = R + jX = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{I}} = Z \angle \varphi \quad (3.8)$$

Tento vztah neplatí, jestliže zkratový proud obsahuje i stejnosměrnou složku. Proto pro zajištění správného měření musíme stejnosměrnou složku v součtovém členu odfiltrovat. To se provádí pomocí tzv. „modelové impedance“ (Obr. 3-11). Modelovou impedancí mohou být přímo impedance Z_1 , Z_2 v součtovém členu. Budeme předpokládat dokonalý přenos jak střídavé, tak stejnosměrné složky zkratového proudu přes jistící transformátory proudu.

Pro zjednodušení uvažujeme, že časový průběh proudu lze popsat rovnicí

$$i_1(t) = I_m \cos \omega t - I_m e^{-\frac{R}{L}t} \quad (3.9)$$

Úbytek napětí na impedanci $\mathbf{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 = Z_1 \angle \varphi_1$ je pak

$$u_1(t) = R_1 i_1(t) + L_1 \frac{di_1(t)}{dt} \quad (3.10)$$

Dosazením za proud i_1 z rovnice (3.9) do rovnice (3.10) dostáváme po úpravě

$$u_1(t) = I_m Z_1 \left(\cos \varphi_1 \cos \omega t - \sin \varphi_1 \sin \omega t \right) - I_m e^{-\frac{R}{L}t} \left(R_1 - L_1 \frac{R}{L} \right) \quad (3.11)$$

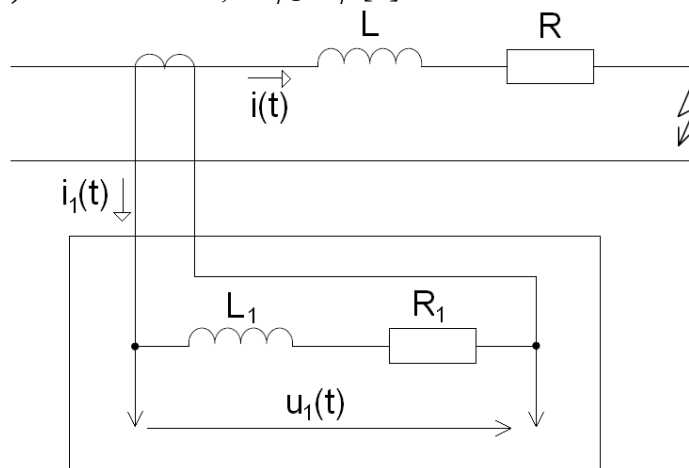
Chceme-li aby napětí $u_1(t)$ neobsahovalo stejnosměrnou složku, pak musí být

$$R_1 - L_1 \frac{R}{L} = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{R}{L} = \frac{L_1}{R_1}, \quad (3.12)$$

což značí, že časová konstanta stejnosměrné složky zkratového proudu je stejná, jako časová konstanta modelové impedance Z_1 . Při splnění této podmínky rovnici (3.11) můžeme přepsat

$$u_1(t) = Z_1 I_m \cos(\omega t + \varphi_1) = Z_1 I_m \cos(\omega t + \varphi), \quad (3.13)$$

neboť podmínka (3.12) současně značí, že $\varphi_1 = \varphi$ [5].



Obr. 3-11: Modelová impedance

3.6 Stupně působení ochrany

Distanční ochrana pracuje mžikově ve vlastním nejbližším chráněném úseku. Může také působit jako záloha sousedních úseků, avšak v těchto úsecích působí se zpožděním. Časová závislost zpoždění působení představuje schodovitou křivku v závislosti na měřené impedanci resp. vzdálenosti k poruše. Vyšší stupně ochrany jsou oproti prvnímu zpožděny tak, aby bylo možné selektivní vypnutí následnými ochranami. Při zkratu v úseku B-C (Obr. 3-1) tak nejprve reaguje ochrana v místě B a v případě jejího selhání by vypínala ochrana v místě A. Ta zároveň tvoří vzdálenou záložní ochranu.

Nejjednodušší případ představuje jednostranně napájené vedení. Aby byla dodržena selektivita, je třeba počítat s bezpečnostním odstupem jak v impedanční oblasti, tak v oblasti vypínacích časů. Bezpečnostní odstup je dán faktorem, kterým je vynásobena vzdálenost od následující zóny, např. při faktoru 0,85 činí odstup 15 %. Tento koeficient zohledňuje chyby měření, chyby převodu přístrojových transformátorů a nepřesnosti parametrů vedení. Pro elektromechanické ochrany se volí hodnota 0,8 a pro digitální může být 0,85 až 0,9.

Výpočet začíná první zónou, která je dána chráněným vedením. Pro druhou zónu je směrodatný konec první zóny ochrany následného vedení, zatímco pro třetí zónu je směrodatný konec druhé zóny ochrany následného vedení.

Mělo by se dbát na to, aby druhá zóna přesahovala sousední stanici alespoň o 20 %, aby zde zabezpečovala rezervní ochranu přípojníc. Třetí stupeň by měl pokrývat pokud možno co nejvíce následné vedení. Popudový polygon má být nastaven tak, aby přesahoval 3. stupeň. Mělo by být zajištěno pokrytí nejdelšího následného vedení včetně přípojníc sousední stanice. Tím se zajistí odpojení při selhání vypínače nebo ochrany alespoň v koncovém stupni.

Zatímco schodovitá charakteristika vyjadřuje časové zpoždění jednotlivých stupňů v závislosti na vzdálenosti zkratu, v impedanční rovině R - X zobrazujeme impedanční citlivost těchto stupňů (Obr. 3-9). Do této roviny lze zakreslit jak vypínací charakteristiky, tak charakteristiku vedení, přičemž počátek souřadnic představuje místo instalace ochrany. Jejich průsečík představuje dosah příslušného stupně. Vedle toho lze v této rovině určit rezervu pro obloukové zkraty R_0 .

Digitální ochrany umožňují nastavit R a X nezávisle, což představuje značné zjednodušení oproti elektromechanickým ochranám. 1. stupeň může být nastaven například následovně:

$$X_1 = 0,85 \cdot X_{AB}, \quad (3.14)$$

$$R_1 = 0,85 \cdot R_{AB} + R_0. \quad (3.15)$$

Popudový člen tvoří spolu se směrovým členem koncový stupeň. Ten je využíván jako časově zpožděný rezervní stupeň, který může být směrově závislý i nezávislý [9].

3.7 Vazby distančních ochran

Jak již bylo naznačeno výše, při chránění vedení distanční ochranou nezasahuje 1. stupeň až ke konci vedení, ale jen asi do 80 - 90 % její impedanční délky. Situaci je možné řešit vazbou distančních ochran. Ochrana, která působí v 1. stupni, předává signál po přenosovém kanálu na protější stranu. Tak mohou být vypnuty oba konce vedení současně. Toto musí být provedeno z důvodu napájení vedení z obou stran.

Používají se tři základní metody vazby distančních ochran:

1. Strhování
2. Uvolňování
3. Blokování

3.7.1 Systém strhávání

Strhovací systém patří mezi nejjednodušší vypínání bez zpoždění v oblasti druhého stupně ochrany. Ochrana A vysílá signál k protější ochraně B a naopak. Při působení směrového popudu současně nabíhá protější ochrana.

Systém strhávání může být realizován těmito způsoby:

Přímé strhávání

Signál protější ochrany je veden přímo na vypínač. Přímý systém je rychlejší, ale méně selektivní. Při vzniku rušivého signálu na přenosové cestě dojde k chybnému vypnutí.

Strhávání přes popud

Impuls z protějšího konce může vypnout pouze v případě současného působení popudového členu. Jeho charakteristika se neliší od přímého strhávání. Je selektivnější než předchozí metoda.

Prodlužování charakteristiky

Signál od protější ochrany nepůsobí na koncové logické členy. Zvětšuje pouze dosah měřícího členu, a tak prodlužuje charakteristiku distanční ochrany na hodnotu přes 100 % délky vedení.

3.7.2 Systém uvolňování

Uvolňovací systém přemostňuje časové zpoždění 2. zóny ochrany. Při použití systému strhávání a uvolňování je nutné, aby mohl být signál přenášen i při poruše na chráněném vedení. To může dělat někdy potíže, například při vysokofrekvenční vazbě po jednom vodiči, který může být touto poruchou přerušen.

3.7.3 Systém blokování

Blokovací systém pracuje i tehdy, je-li v okamžiku zkratu přerušen přenosový kanál. Princip je vlastně negací systému uvolňování - ochrana vysílá impuls tehdy, má-li protější ochrana blokovat. Protože to trvá určitou dobu, musí být signál na příjmu zpožděn, tj. koncové relé musí mít náběh zpožděn nejméně o dobu přenosu signálu.

Vazeb distančních ochran se využívá pro zabezpečení vypnutí jen daného úseku hlavně v přenosových soustavách, v distribučních sítích se distanční ochrana nalézá výjimečně [1], [9].

3.8 Výhody distanční ochrany oproti jiným ochranám

- a) Distanční ochrana nezjišťuje pouze směr polohy zkratu jako směrová ochrana, ale přímo vymezuje začátek i konec úseku vedení, kde působí.
- b) Automatická změna citlivosti ochrany ve zvolených časových úsecích dovoluje zálohovat s určitým zpožděním ochrany sousedních úseků.
- c) V základním úseku pracuje mžikově, zatímco nadproudové ochrany musí být směrem ke zdroji výkonu (kde jsou nejtěžší ztráty) úmyslně zpožděné.
- d) Funkce distanční ochrany nezávisí na kolísání napětí zdroje. Impedance Z vedení je konstantní [1].

4 DIGITÁLNÍ OCHRANY

Výpočtová technika postupně nahrazuje mnoho tradičních přístrojů a zařízení, které se v elektroenergetice používají. Jednou z takových oblastí jsou digitální ochrany. Hlavní důvod použití mikropočítačů nebyl jen ve spolehlivosti plnění úkolů běžně žádaných od klasických ochrany, ale zejména ve zdokonalení jejich funkcí potřebných pro uživatele, jako například přesnost, selektivita, komplexnější zpracování vstupních veličin, a též zvýšení uživatelského komfortu. Velmi důležitou funkcí je autokontrola digitální ochrany, což umožňuje prodloužit interval mezi ručně vykonávanými revizemi až na několik roků.

Postupně se s vývojem výpočtové techniky digitální ochrany zdokonalují v konstrukčním a programovém vybavení. Stávají se cenově dostupnější. Digitální ochrany umožňují plnit i další úlohy, čímž přispívají k monitorování, ovládání a řízení provozu elektrizační soustavy a jejich prvků v reálném čase [6].

4.1 Digitální distanční ochrany

Principiální rozdíl mezi digitálními ochranami je v obslužných programech. Úlohou distanční ochrany je chránit trojfázové vedení pro jeden terminál. Algoritmy těchto programů jsou založené na výpočtu velikosti impedance poruchové smyčky. Jelikož typ zkratu není dopředu známý, v prvním kroku se musí z navzorkovaných průběhů proudu a napětí v poruchovém stavu určit typ zkratu. Existuje několik typů algoritmů [6].

4.1.1 Algoritmy programů distančních ochrany

Algoritmus pracující s impedancemi poruchové smyčky

Nejjednodušší algoritmus distanční ochrany sestává z šesti bloků, ve kterých se v každém určuje typ zkratu. Ve třech blocích se určují jednofázové zemní zkraty a v dalších třech mezifázové zkraty. Ze známých vzorků v poruchovém stavu po n -tý vzorek se vypočítá velikost fázorů napětí u_{L1} , u_{L2} , u_{L3} a velikost fázorů proudu i_{L1} , i_{L2} , i_{L3} . Z těchto fázorů napětí a proudů se vypočítá všech šest impedancí poruchových smyček. Každá hodnota poruchové impedance je porovnávána s nastavenou charakteristikou ochrany. Z těchto vypočítaných hodnot impedance bude správně jen jedna hodnota, která určí typ zkratu a místo poruchy. V případě trojfázového zkratu dá správnou hodnotu poruchových impedancí všech šest bloků. Dále ve výpočtovém programu určí distanční ochrana pro daný typ poruchy zónu, odměří vypínací čas a dá povel na vypnutí výkonového vypínače [6].

Algoritmus určující nejdřív typ zkratu

Činnost digitální distanční ochrany se může zrychlit, když se v prvním kroku jednoznačně určí typ zkratu. Typ zkratu můžeme určit například z průběhu fázorových napětí třech fází. Zjistí se difference napětí v periodě s poruchou proti periodě předcházející (bez poruchy). K zaregistrování typu poruchy musí být nejdříve signál napětí zbavený rušivých vlivů a chyb. Po tomto se začne zjišťovat počet bodů na periodě, v kterých došlo k překročení předdefinované hranice poklesu napětí. Na základě počtu bodů s poklesem napětí se určí typ zkratu. Počítadla bodů v každé fázi se startují naráz vznikem prvního poklesu s překročenou nastavenou hranicí. V případě napočítání stejného počtu bodů s poklesem napětí, například ve dvou fázích, znamená, že vzniknul mezifázový zkrat. Další ochrana pro vybavený typ zkratu určí zónu s poruchou, přiřadí čas vypnutí a zabezpečí povel na vypnutí vývodu vedení s poruchou. Úspora času se dosáhne tím, že další výpočty impedance dosahu poruchy se dělá jen pro identifikovaný typ poruchy.

Typ zkratu se může určit nejen na základě napětí, ale podobně i na základě porovnání bodů proudu na periodách, ve kterých došlo k překročení difference nastavené hranice proudu v jednotlivých fázích.

Algoritmus založený na výběru typu zkratu z napětí anebo proudu má svoje nevýhody. Takovým případem je napájení krátkého vedení ze soustavy s malým výkonem, resp. když dlouhé vedení je napájené ze soustavy s velkým výkonem. V takových případech se těžko dá zaregistrovat odchylka napětí v případě vzniku poruchy. Výběr typu zkratu na základě velikosti proudů také nemusí být jednoznačný v případě, když zátěžové proudy jsou porovnatelné s poruchovými proudy. Ochrana musí výše uvedené případy rozpoznat a zabezpečit správný výběr zkratu. Další nevýhodou tohoto algoritmu je, že dokud se neuskuteční výběr typu poruchy kompletně ve všech třech fázích, není možné přejít na výpočet impedančního dosahu zón. Toto časové zpoždění je dané porovnáváním vzorků na periodě časového průběhu a není možné ho zrychlit [6].

Diferenciální číslicová distanční ochrana

Její princip je založen na predikci velikosti amplitudy harmonického napětí a proudu. Určuje ze dvou snímaných diskrétních vzorků amplitudu napětí a proudů. Předpoklad je, že časový průběh měřené veličiny napětí je dán rovnicí

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (4.1)$$

kde φ je fázový posun mezi proudem a napětím.

Její derivováním se dostane

$$u' = \omega U_m \cos(\omega t + \varphi). \quad (4.2)$$

Úpravou obou rovnic se pak určí amplitudu napětí

$$U_m = \sqrt{u^2 + \left(\frac{u'}{\omega}\right)^2}. \quad (4.3)$$

A podobně je-li proud

$$i = I_m \sin \omega t. \quad (4.4)$$

Jehož derivováním se dostane

$$i' = \omega I_m \cos \omega t, \quad (4.5)$$

lze pak analogicky určit jeho amplitudu

$$I_m = \sqrt{i^2 + \left(\frac{i'}{\omega}\right)^2}. \quad (4.6)$$

Takto se může predikovat ze dvou vzorků amplitudu napětí a proudu.

Měřená impedance je pak dána Ohmovým zákonem

$$Z = \frac{U_m}{I_m}. \quad (4.7)$$

Okamžitá hodnota napětí se nahradí aritmetickým průměrem dvou snímaných vzorků viz. Obr. 4-1

$$u = \frac{1}{2}(u_k + u_{k-1}). \quad (4.8)$$

A derivace napětí v rovnici (4.3) se nahradí definicí

$$u' = \frac{u_k - u_{k-1}}{\Delta t}. \quad (4.9)$$

Analogicky se tak může vyjádřit okamžité hodnoty proudu a jejich derivaci ze synchronně snímaných vzorků.

Fázový posun φ mezi napětím a proudem se může získat následovně. Z rovnice (4.1) a (4.2) se vyjádří

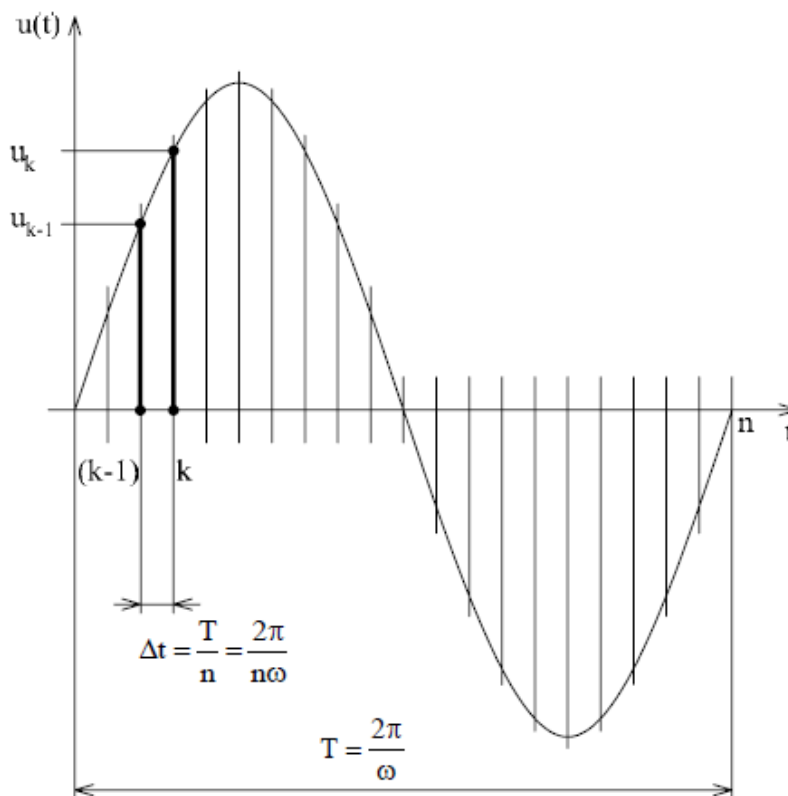
$$\operatorname{tg}(\omega t + \varphi) = \frac{\frac{u}{U_m}}{\frac{u'}{\omega U_m}} = \frac{\sin(\omega t + \varphi)}{\cos(\omega t + \varphi)} = \frac{\omega u}{u'}. \quad (4.10)$$

Z rovnic (4.4) a (4.6) se obdobně určí

$$\operatorname{tg}(\omega t) = \frac{\omega i}{i'}. \quad (4.11)$$

Pak z obou posledních rovnic můžeme určit úhel [5]

$$\varphi = \arctg(\omega t + \varphi) - \arctg(\omega t) \quad (4.12)$$



Obr. 4-1: Princip distanční číslicové ochrany [5]

Distanční ochrana se vzorkováním

Její princip spočívá v tom, že je měřena velikost okamžité hodnoty napětí v čase, kdy proud prochází maximem nebo nulou.

Okamžitá hodnota proudu a napětí je

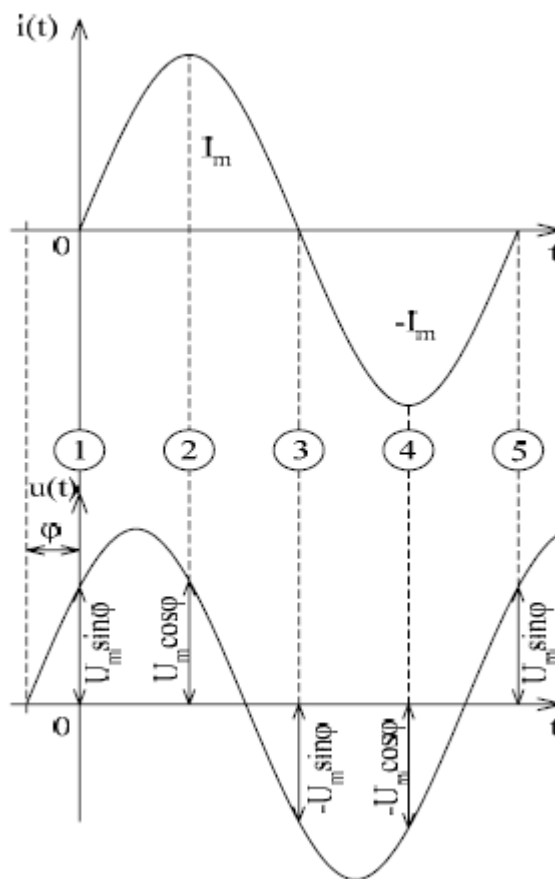
$$i = I_m \sin \omega t \quad (4.13)$$

a

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (4.14)$$

Pak podle Obr. 4-2 při snímání vzorků napětí dostáváme postupně

- | | | |
|---------------|------------|--|
| 1. $t = 0$ | $i = 0$ | $u = U_m \sin \omega t,$ |
| 2. $t = T/4$ | $i = I_m$ | $u = U_m \sin(90^\circ + \varphi) = U_m \cos \varphi,$ |
| 3. $t = T/2$ | $i = 0$ | $u = U_m \sin(180^\circ + \varphi) = -U_m \sin \varphi,$ |
| 4. $t = 3T/4$ | $i = -I_m$ | $u = U_m \sin(270^\circ + \varphi) = -U_m \cos \varphi,$ |
| 5. $t = T$ | $i = 0$ | $u = U_m \sin(360^\circ + \varphi) = U_m \sin \varphi,$ |
| . | | |
| . | | |
| . | | |



Obr. 4-2: Princip ochrany se vzorkováním [5]

Impedanci lze vyjádřit

$$Z = R + jX = \frac{U_m \cos \varphi + jU_m \sin \varphi}{I_m} \quad (4.15)$$

Pak

$$R = \left| \frac{u_{\text{sudý}}}{I_m} \right| \quad (4.16)$$

a

$$X = \left| \frac{u_{\text{lichý}}}{I_m} \right|, \quad (4.17)$$

kde $u_{\text{sudý}}$ je okamžitá hodnota napětí měřená při průchodu proudu maximem a $u_{\text{lichý}}$ je okamžitá hodnota napětí měřená při průchodu proudu nulou.

Počítač tedy ze dvou vzorků vyhodnocuje impedanci, kterou porovnává s impedancí chráněného vedení [5].

Distanční ochrana s filtrací

Obě předchozí metody vycházely z předpokladu, že měřené veličiny napětí a proudu mají harmonický průběh. Obsahují-li však stejnosměrnou složku či vyšší harmonické, pak dochází k chybnému výpočtu např. měřené impedance. Tuto nevýhodu odstraňuje algoritmus využívající Fourierovu harmonickou analýzu tzv. číslicovou filtraci.

Nechť napětí či proud jsou periodické funkce. Pak okamžitá hodnota např. napětí se může s použitím Fourierovy řady zapsat

$$u = U_{ss} + U_{a1} \sin \omega t + U_{a2} \sin 2\omega t + \dots + U_{b1} \cos \omega t + U_{b2} \cos 2\omega t + \dots, \quad (4.18)$$

kde U_{ss} je stejnosměrná složka periodického signálu u a

U_{ak} , U_{bk} jsou koeficienty Fourierovy řady.

Předpokládá se, že během periody T získáme p vzorků napětí ve stejných časových intervalech Δt . Z nich se pak může vypočítat podle všeobecně známých vztahů amplitudy jednotlivých harmonických. Pro základní harmonickou platí

$$U_{a1} = \frac{2}{p} \sum_{k=1}^p u_k \sin \frac{2k\pi}{p} \quad (4.19)$$

a

$$U_{b1} = \frac{2}{p} \sum_{k=1}^p u_k \cos \frac{2k\pi}{p}, \quad (4.20)$$

kde u_k jsou měřené okamžité hodnoty napětí v intervalech Δt a p je počet snímaných vzorků za periodu T .

Amplitudu základní harmonické získáme podle vztahu

$$U_1 = \sqrt{U_{a1}^2 + U_{b1}^2} \quad (4.21)$$

Analogicky se vypočítá také základní harmonická proudy, může se určit impedance chráněného vedení

$$Z = \frac{U_1}{I_1} = \sqrt{\left(\frac{U_{a1}^2 + U_{b1}^2}{I_{a1}^2 + I_{b1}^2} \right)} \quad (4.22)$$

A její úhel

$$\varphi = \arctg \frac{U_{b1}}{U_{a1}} - \arctg \frac{I_{b1}}{I_{a1}} \quad (4.23)$$

Název filtrace značí, že při výpočtu impedance jsou vyloučeny vlivy vyšších harmonických a stejnosměrné složky. Nevýhoda této metody spočívá v tom, že doba měření je určena dobou periody tj. 20 ms, plus dobou výpočtu amplitud základní harmonické napětí a proudů. Dále je přesnost diskrétní Fourierovy analýzy určena počtem vzorků p . Praktické výpočty ukazují, že vyhovující přesnosti se dá dosáhnout při počtu vzorků za periodu $p > 20$, což odpovídá frekvenci vzorkování $f_{\text{vzorkování}} > 1 \text{ kHz}$ [5].

4.1.2 Rozběhové (popudové) členy distanční ochrany

Hlavní úlohou rozběhových členů distančních ochrany je zjistit poruchový stav na vedení a uvést do činnosti další členy ochrany tak, aby došlo k selektivnímu vypnutí vedení s poruchou. Pro distanční ochrany je možné použít následující principy rozběhových členů:

Nadproudové rozběhové členy

Patří k nejjednodušším a přitom spolehlivým rozběhovým členům distančních ochrany. V principu jde o stejné rozběhové členy, jako se používají při nadproudových ochranách na identifikaci mezifázových zkratů.

Nadproudové rozběhové členy na mezifázových zkratech se nejčastěji používají v sítích s napětím do 35 kV, kde jsou mezifázové zkratové proudy výrazné oproti provozním proudům. Toto umožňuje bez problémů nastavit rozběhové hodnoty proudů v jednotlivých fázích nad jmenovitý proud chráněného vedení.

Na chránění vn vývodů vedení při elektromechanických ochranách se na identifikaci mezifázových zkratů používají nadproudové členy, které jsou zařazené do dvou fází distanční ochrany. Na zachycení zemních poruch ochrana obsahuje další rozběhový nadproudový člen, který měří netočivou složku proudů. Nastavuje se podstatně citlivěji v porovnání s nastavením nadproudových členů pro identifikaci mezifázových zkratů [6].

Impedanční rozběhové členy

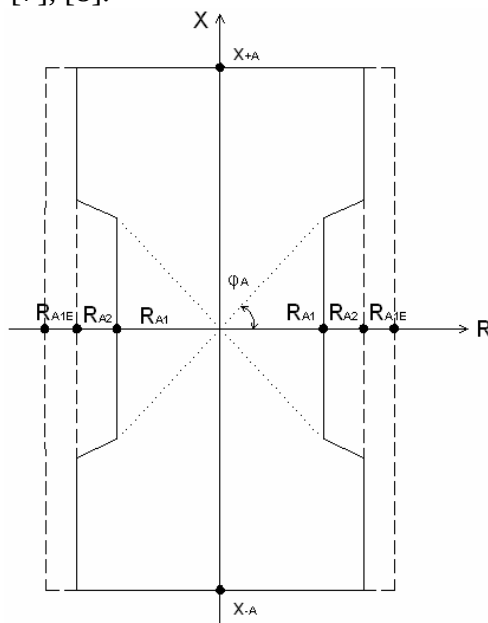
Používají se nejčastěji v sítích vvn a zvn na identifikaci mezifázových zkratů. V těchto sítích se můžou vyskytnout případy, kdy provozní proud chráněného vedení I_p je větší jako minimální poruchový proud I_F . Na takový specifický případ, kde $I_F < I_p$, není možné nastavit nadproudové rozběhové členy. Z tohoto důvodu se na identifikaci takových poruch používají impedanční rozběhové členy. Vznikem mezifázové poruchy na vedení dochází k poklesu napětí. Impedanční rozběhové členy reagují na pokles impedance chráněného obvodu, tedy obou poruchových veličin napětí i proudů současně. Jejich hlavní předností je, že vědí spolehlivě rozlišit poruchové proudy od provozních [6].

4.1.3 Impedanční charakteristika rozběhových členů

Impedanční popudové členy distančních ochran musí mít takový tvar vypínacích charakteristik, aby spolehlivě zachytily i velmi vzdálené poruchy, ale při tomto nesmí nabíhat na provozní impedanci při největším zatížení.

Použití digitální techniky umožňuje prakticky jakýkoliv tvar rozběhové (popudové) charakteristiky.

Digitální ochrany mají impedanční charakteristiku popudového členu tvaru polygonu, který lze libovolně nastavovat. Nastavit lze i hodnoty odděleně pro jednofázové a vícefázové poruchy, takže lze pro jednofázové nastavit větší citlivost směrem k oblasti zátěže a zvětšit tak rezervu pro obloukové zkraty [7], [8].



Obr. 4-3: Nastavení impedančního popudu ochrany [8]

Charakteristiku nastavujeme změnou parametrů v tučně vyznačených bodech, kde R_{A1} je nastavení mezifázového zkratu,

R_{A1E} je nastavení jednofázového zemního zkratu.

4.2 Výhody a nevýhody distančních ochran

Výhody:

- poměrně dobrá selektivita,
- malé zpoždění při likvidaci zkratů v prvním stupni. To příznivě přispívá k udržení stability chodu elektrizační soustavy,
- mnohem vyšší citlivost při zkratu, než je tomu u proudových ochran.

Nevýhody:

- složitost ochran, vysoká cena,
- možnost chybného měření při ztrátě měřeného napětí. Je nutno vybavit ji dodatečným blokováním při poruše v napěťovém obvodu jistících transformátorů napětí,
- při nastavování jednotlivých stupňů ochrany je přesnost měření ovlivněna velikostí příčné admitance vedení (svod a kapacity),
- potíže při vhodném nastavení druhého stupně z dalšího stupně při složitějších zapojeních sítě.

5 POSTUP NASTAVENÍ DIGITÁLNÍ DO REL 511

DO vedení REL 511 se bude testovat pomocí sekundárního testovacího zařízení OMICRON CMC 256plus, na kterém se bude s využitím programového vybavení testeru OMICRON Test Universe simulovat poruchy na vedení. V prostředí Test Universe se bude používat modul Distance, pomocí kterého se budou sestrojovat jednotlivé zóny impedanční charakteristiky. Ty se následně proměří bod po bodu, tzv. „Shot testem“, aby se zjistilo, zda REL 511 vypíná v čase zóny, ve kterém má. Výsledky naměřených hodnot distanční ochrany se nakonec zobrazí v grafech a vyhodnotí se.

5.1 Distanční ochrana vedení REL 511

DO REL 511 (Obr. 5-1) je univerzální ochranný, řídicí a monitorovací terminál pro venkovní distribuční a přenosová vedení a kabely v sítích s přímo uzemněným i vysokoimpedančně uzemněným a izolovaným uzlem. Je základním ochranným prvkem systému PYRAMID. Systém PYRAMID obsahuje kompletní řadu terminálů a systémů pro chránění, monitorování a řízení rozvodů. Jednotlivé bloky systému PYRAMID jsou k dispozici buď jako samostatné ochrany nebo jako komponenty kompletního monitorovacího, řídicího nebo systému testování ochrany.



Obr. 5-1: Distanční ochrana vedení REL 511 od společnosti ABB

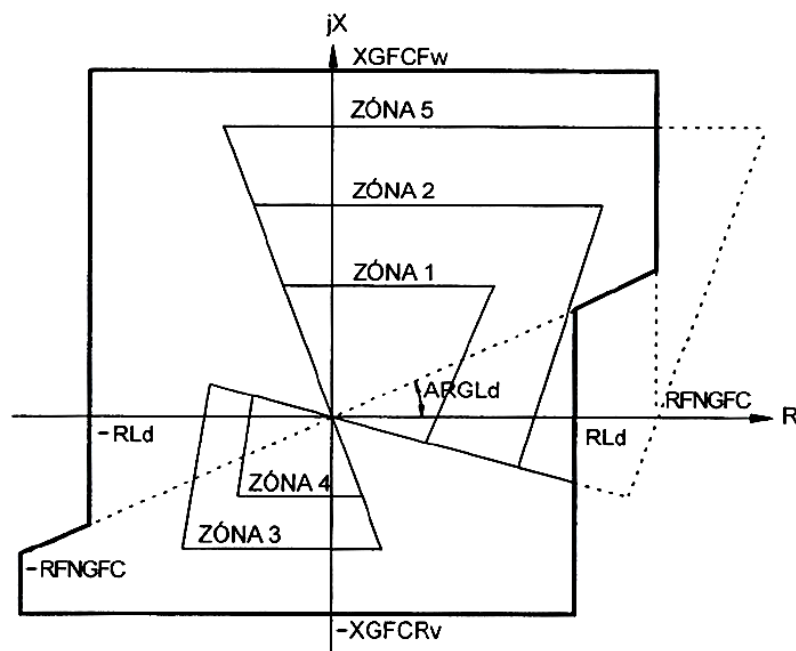
Základní ochranou funkcí v terminálu REL 511 je distanční ochrana se samostatnými měřicími členy pro různé typy poruch a jednotlivé impedanční zóny. Terminál obsahuje pět impedančních měřících zón s programovatelnou směrovostí.

Další nezávislé měřící členy tvoří obecné kritérium poruchy (GFC). Tato funkce používá jinou kombinaci měřených veličin než měřící členy jednotlivých zón. REL 511 tak splňuje všechny požadavky na dvě různá měřící kritéria v jednom bodě umístění ochrany.

Měřící členy GFC mohou pracovat na základě nadproudového nebo impedančního měření. Impedanční měřící členy mají progresivní charakteristiku, která je uvedena na (Obr. 5-2). Nastavení reaktančního dosahu v dopředném a zpětném směru je navzájem nezávislé. Stejně je nezávislé i nastavení odporového dosahu pro pokrytí vysokoohmických poruch a omezení odporového dosahu v oblasti bezpečné provozní impedance zátěže. Parametry oblasti provozní impedance zátěže jsou rovněž nastavitelné v širokém rozsahu.

Čtyřúhelníková charakteristika každé impedanční zóny se samostatným a nezávislým nastavením dosahu v reaktančním a odporovém směru umožňuje optimální aplikaci pro všechny délky jednoduchých vedení i vedení uvnitř složité konfigurace sítě. Čtyřúhelníková charakteristika zajišťuje maximální odporové pokrytí všech poruch a maximální omezení vlivu zátěže. K přizpůsobivosti celé ochrany navíc přispívá automatické přizpůsobení zemní

impedance. Reaktanční charakteristika s kompenzací vlivu zátěže u první zóny předurčuje REL 511 pro chránění dlouhých vedení značně zatížených vedení [10].



Obr. 5-2: Charakteristika impedančních měřících funkcí v REL 511 [10]

kde $XGFCFw$ je reaktanční dosah v dopředném směru,

$XGFCRv$ je reaktanční dosah ve zpětném směru,

$RFNGFC$ je odporový dosah vztažený k odporu poruchy,

RLd je odporový dosah vztažený k minimálnímu odporu zátěže,

$ARGLd$ je úhel impedance zátěže.

5.1.1 Technická data

Tab. 5-1: Vstupní veličiny, jmenovité a limitní hodnoty pro naši DO REL 511 [10]

Veličina	Jmenovitá hodnota	Jmenovitý rozsah
Proud	$I_r = 1 \text{ A}$	$(0,2-30) \times I_r$
Sdružené střídavé napětí	$U_r = 100 \text{ V}$	$(80-120) \% U_r$
Frekvence	$f_r = 50 \text{ Hz}$	$\pm 5 \%$
Pomocné stejnosměrné napětí	$U_{rss} = 220 \text{ V}$	$\pm 20 \%$

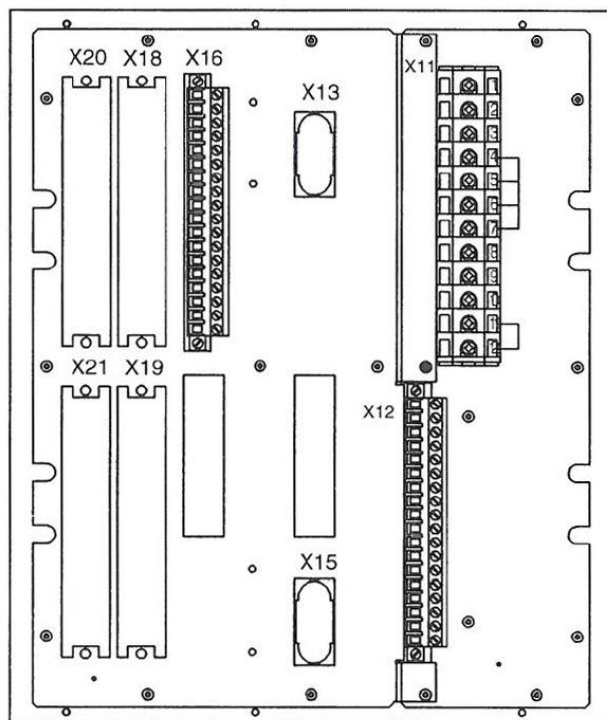
5.1.2 Elektrické připojení

Na ochraně jsou dva druhy elektrických svorek. Jeden pro proudové vodiče s průřezem do 4 mm^2 , druhý pro vodiče s průřezem do $2,5 \text{ mm}^2$ určený pro všechny napěťové signály.

Proudové svorky jsou umístěny na pozici X11. Jsou to tzv. „svorky s průchozím napájením“ s plochými čelistmi na vnitřní straně.

Napěťové svorky mají dvě části. Odnímatelnou část s dutinkami pro připojení vnějších vodičů a pevnou část uvnitř ochrany připevněnou na desce plošných spojů. Všechny vnější konektory mají označení na zadní straně ochrany. Stejně značky jsou i na odnímatelných částech svorkovnic. Do svorky může být připojen jeden vodič o průřezu $0,2-2,5 \text{ mm}^2$ nebo dva vodiče o průřezu $0,2-1 \text{ mm}^2$ [10].

Pohled zezadu

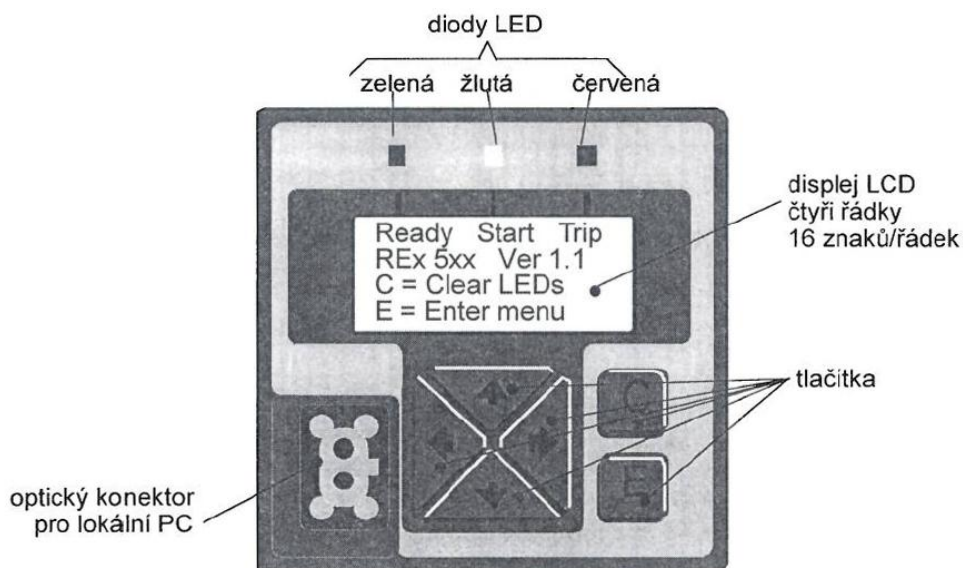


Obr. 5-3: Zadní pohled na REL 511 [10]

5.1.3 Místní komunikace s ochranou pomocí místní ovládací jednotky

Pro místní komunikaci mezi uživatelem a terminálem slouží zabudovaná místní ovládací jednotka (MMI).

Jednotka MMI je zobrazena na Obr. 5-4. Skládá se ze tří světelných indikačních diod (LED), displeje z tekutých krystalů (LCD), šesti membránových tlačítek a optického konektoru sloužícího pro lokální komunikaci s ochranou prostřednictvím připojeného osobního počítače (PC).



Obr. 5-4: Místní ovládací jednotka [10]

5.1.3.1 Indikační LED diody

LED diody podávají první informaci o stavu terminálu. Každá LED má speciální význam, závisající na tom, zdali LED trvale svítí, bliká nebo nesvítí.

Zelená LED trvale svítí: indikuje normální provozní podmínky terminálu.

Zelená LED bliká: indikuje, že terminál zaznamenal vnitřní poruchu. Podle typu poruchy a vnitřní konfigurace se terminál buď zablokuje, nebo přejde na omezený pracovní režim.

Žlutá LED trvale svítí: indikuje, že došlo k záznamu jedné nebo více poruch.

Žlutá LED bliká: indikuje, že terminál je v režimu Test.

Červená LED trvale svítí: indikuje, že alespoň jedna ochranná funkce vyslala během záznamu poruchy vypínací povel.

Červená LED bliká: indikuje, že terminál je zablokován vnitřním nebo vnějším povel [10].

5.1.3.2 LCD displej

Displej LCD poskytuje detailní informace o stavu terminálu. V normálním stavu nic nezobrazuje. Po stisknutí libovolného tlačítka se na displeji zobrazí aktuální stav diod LED, typ a verze terminálu a instrukce, jak pokračovat v lokální komunikaci s terminálem.

LCD displej zhasne, pokud uživatel opustí menu, nebo nebylo-li během 45 minut stisknuto žádné tlačítko.

Pokud je v terminálu zapsána porucha, která nebyla obsluhou potvrzena, zobrazuje se na displeji výpis poruchy (automaticky se opakující informace o posledních dvou poruchách).

Různé informace se na displeji zobrazují v tzv. oknech [10].

5.1.3.3 Membránová tlačítka

Aby byla komunikace s terminálem pro obsluhu co nejjednodušší, byl počet tlačítek na jednotce MMI snižen na nejnižší přijatelnou mez. Tlačítka mají obvykle více funkcí, které závisí na tom, v které části menu se uživatel nachází.

Všechna tlačítka mají jednu funkci společnou: pokud je LCD displej v klidu (neaktivní, zhasnutý), dojde po stisknutí libovolného tlačítka k aktivaci LCD.

Tlačítko C má tři hlavní funkce:

- pokud je použito v dialogovém okně, dojde k opuštění navolené operace („Cancel“),
- provádí opuštění („Exit“) ve stromovém menu. To znamená, že po každém stisknutí tlačítka C kdekoli ve stromovém menu dojde k ukončení aktuální funkce nebo k opuštění pozice v menu a přesunu na úroveň o stupeň vyšší,
- na nejvyšší úrovni menu provádí zhasnutí LED diod.

Tlačítko E zajišťuje funkci vstupu („Enter“). Stisknutím se aktivuje zvolená položka menu, potvrdí se nastavení, jiné akce atd.

Levá a pravá šipka mají dvě funkce:

- mění pozici kurzoru ve vodorovném směru, například posouvají kurzor mezi číslicemi při nastavování číselných hodnot,
- zajišťuje pohyb mezi datovými okny v jedné položce menu.

Horní a dolní šipka mají tři funkce:

- zajišťují pohyb v menu a dialogových oknech,
- posouvají na displeji řádky menu, pokud menu obsahuje více položek, než je zobrazeno na displeji,
- v režimu nastavování mění hodnoty parametrů v datových oknech [10].

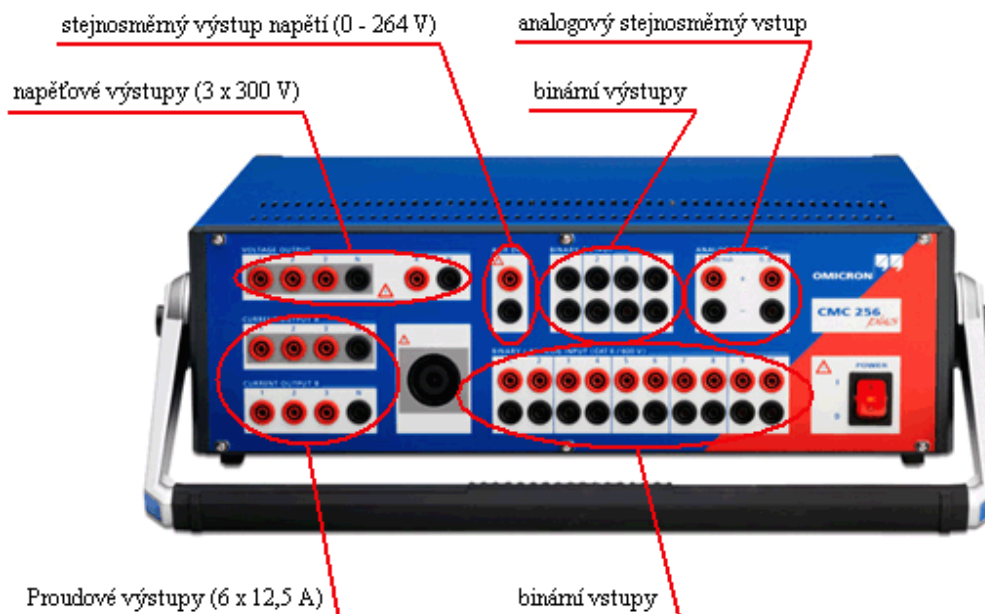
5.2 Testovací zařízení OMICRON CMC 256plus

Testovací zařízení (TZ) OMICRON CMC 256plus je zařízení uzpůsobené pro testování elektroměrů, měničů a ochran. Zařízení umožňuje simulovat signály z měřicích transformátorů proudu a napětí a tím ověřit funkci ochrany.

Výkonové parametry CMC 256plus:

- Výstupní zkušební veličiny:
 - 4 x napětí (fázové 0 ... 300 V),
 - dva galvanicky oddělené proudové obvody (vždy 3 x 12,5 A).
- Napájení zkoušeného objektu stejnosměrným napětím.
- Výstup a vstup binárních signálů.

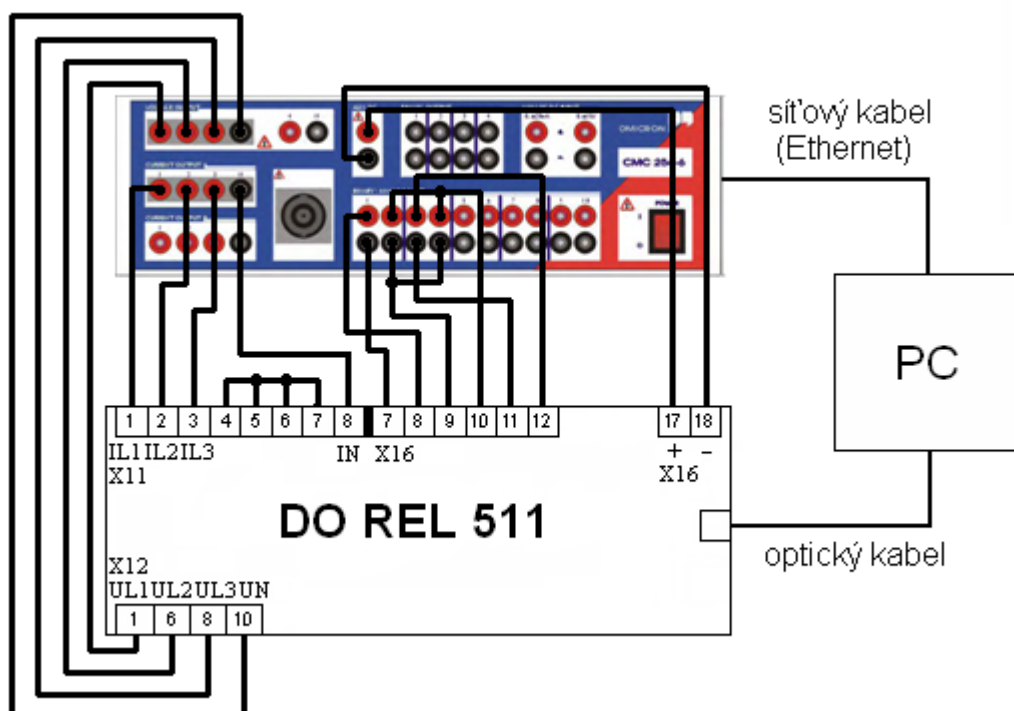
OMICRON CMC 265plus je součástí zkušebního systému, který se vedle zkušebního přístroje samotného skládá z PC a programu OMICRON Test Universe [11].



Obr. 5-5: Sekundární tester OMICRON CMC 256+ [11]

5.3 Schéma zapojení DO REL 511 pro měření

Ze schématu zapojení (Obr. 5-6) lze vyčíst, že distanční ochrana je napájena stejnosměrným napětím přímo z TZ, které je k ní připojeno přes napěťové a proudové vstupy. Z DO vedou tři binární výstupy do TZ, které nám vydávají povely k vypnutí jednotlivých fází. Ochrana je připojena přes optický datový kabel, připojený na jejím předním panelu, s počítačem, přes který ji ovládáme. S počítačem je propojeno i TZ, které nám simuluje vedení a jeho případné poruchy.



Obr. 5-6: Schéma zapojení DO REL 511

kde svorkovnice: X11:1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 jsou proudové vstupy,
 X12:1, 6, 8, 10 jsou napěťové vstupy,
 X16:7, 8, 9, 10, 11, 12 jsou binární výstupy,
 X16:17, 18 je stejnosměrné napájení.

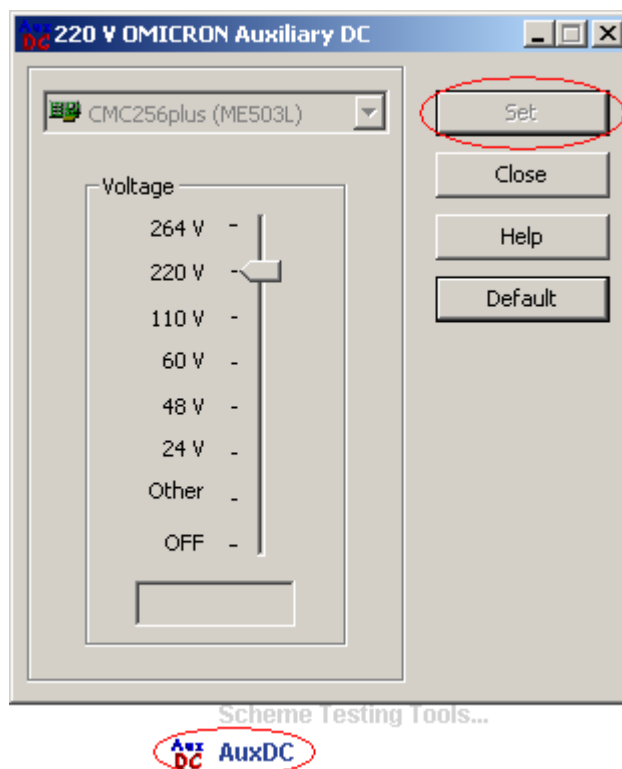
5.4 Napájení

DO je napájena stejnosměrným pomocným napětím přímo z TZ. Ze svorek „AUX DC“ z TZ je na svorkovnici X16 svorku 17 přivedeno + a na svorku 18 je přivedeno -.



Obr. 5-7: Svorky stejnosměrného zdroje napájení TZ [11]

V prostředí Test Universe se v modulu „AuxDC“ zvolí pomocné stejnosměrné napětí $U_{\text{rss}} = 220 \text{ V}$ a potvrdí se „Set“ (Obr. 5-8). Tímto se DO REL 511 uvede do provozu a na MMI se rozsvítí zelená LED.



Obr. 5-8: Pomocné stejnosměrné napětí 220 V

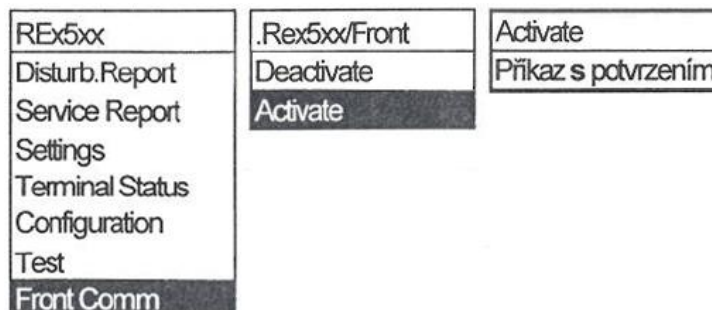
5.5 Komunikace

Komunikace DO REL 511 s TZ OMICRON 256plus probíhá přes síťový kabel (Ethernet), kdy se jeden konec síťového kabelu připojí do síťové karty PC a druhý konec do zadního panelu TZ.

5.5.1 Přední komunikace

Komunikace DO s konfiguračním programem CAP 540 probíhá přes optické komunikační rozhraní, umístěné na místní ovládací jednotce MMI, pomocí optického datového kabelu se skleněnými nebo plastovými optickými vlákny připojeného do sériového rozhraní do PC.

Přední komunikace se podle stromového menu na Obr. 5-9, aktivuje v „Activate“ tlačítkem „Yes“. Cesta ke konečným položkám je vyznačena bílým textem na černém pozadí.



Obr. 5-9: Aktivace přední komunikace [10]

5.6 Konfigurace

Zjištění nastavených parametrů a samotné nastavení ochrany se provádí v konfiguračním programu CAP 540.

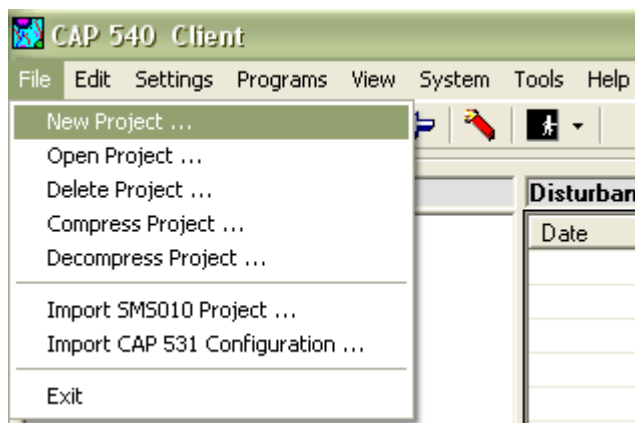
5.6.1 Vytvoření projektu v CAP 540

Program je zabezpečen přístupovým jménem a heslem (Obr. 5-10). Přístupové jméno zní „systemadministrator“ a přístupové heslo „a10“.

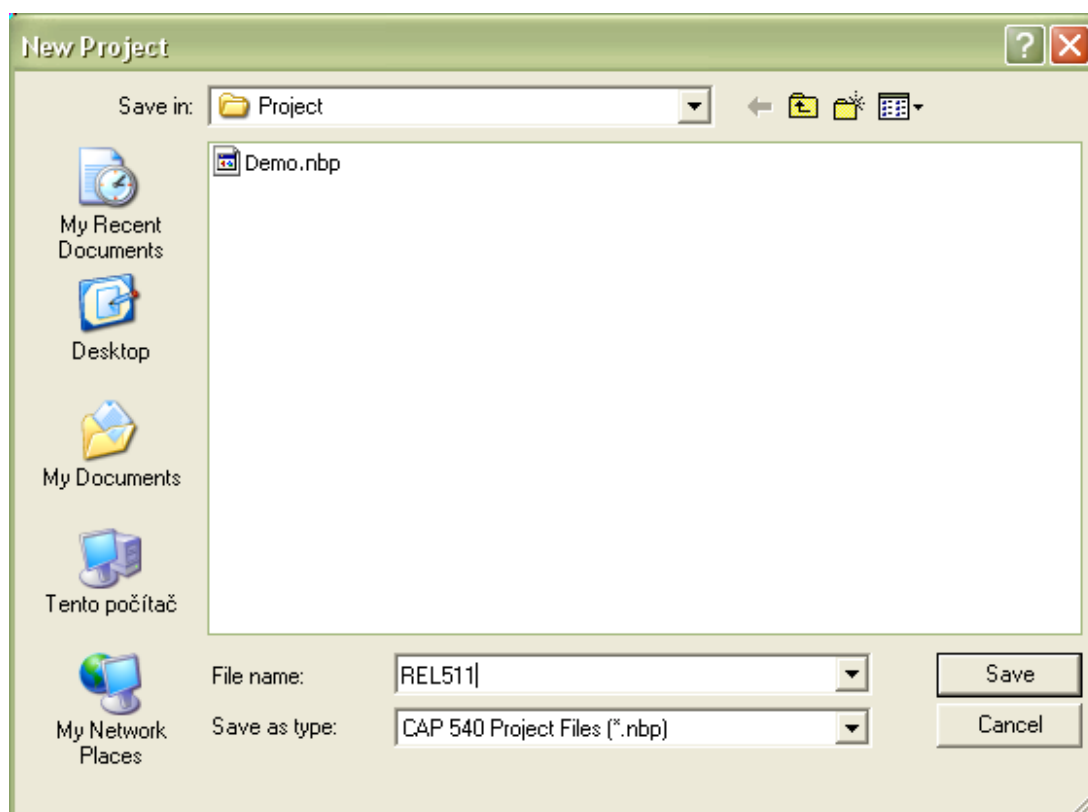


Obr. 5-10: Přihlašovací obrazovka CAP 540

V CAPu 540 se musí v první řadě vytvořit nový projekt (Obr. 5-11), který se následně uloží (Obr. 5-12). Název projektu nesmí obsahovat tyto znaky: mezeru \ / : * ? < > | “.

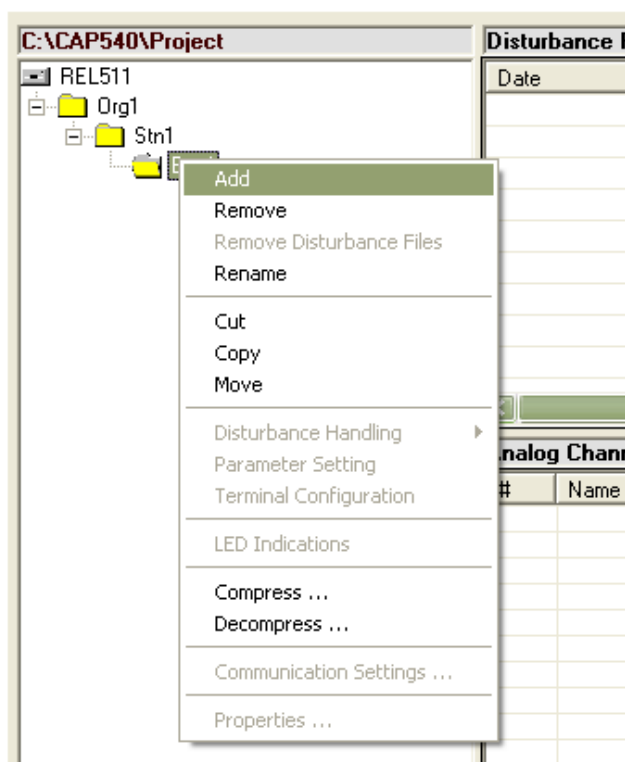


Obr. 5-11: Vytvoření nového projektu v CAP 540

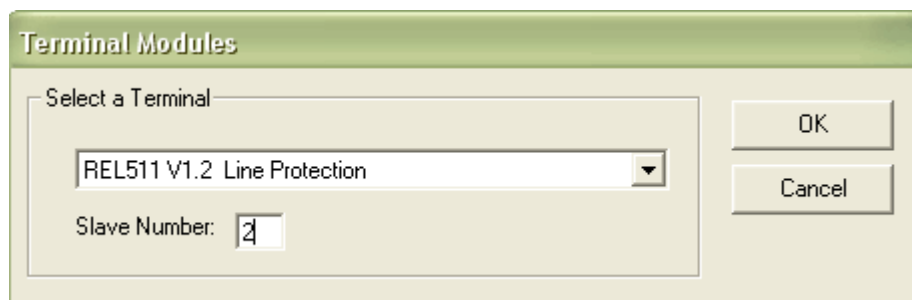


Obr. 5-12: Uložení projektu v CAP 540

Dále se přidá (Obr. 5-13) do stromové struktury projektu typ terminálu, na kterém budeme provádět testování, a hodnota úrovně přístupu do terminálu „SlaveNo“. Typ terminálu se nalezne v knihovně programu. V našem případě je to ochrana vedení REL 511 verze 1.2 (Obr. 5-14). Hodnota úrovně přístupu do terminálu se zjistí ze stromového menu MMI podle Obr. 5-15, v našem případě je tato úroveň nastavena na hodnotu 2.



Obr. 5-13: Přidání zařízení do stromové struktury projektu



Obr. 5-14: Volba typu terminálu a hodnota úrovně přístupu do terminálu

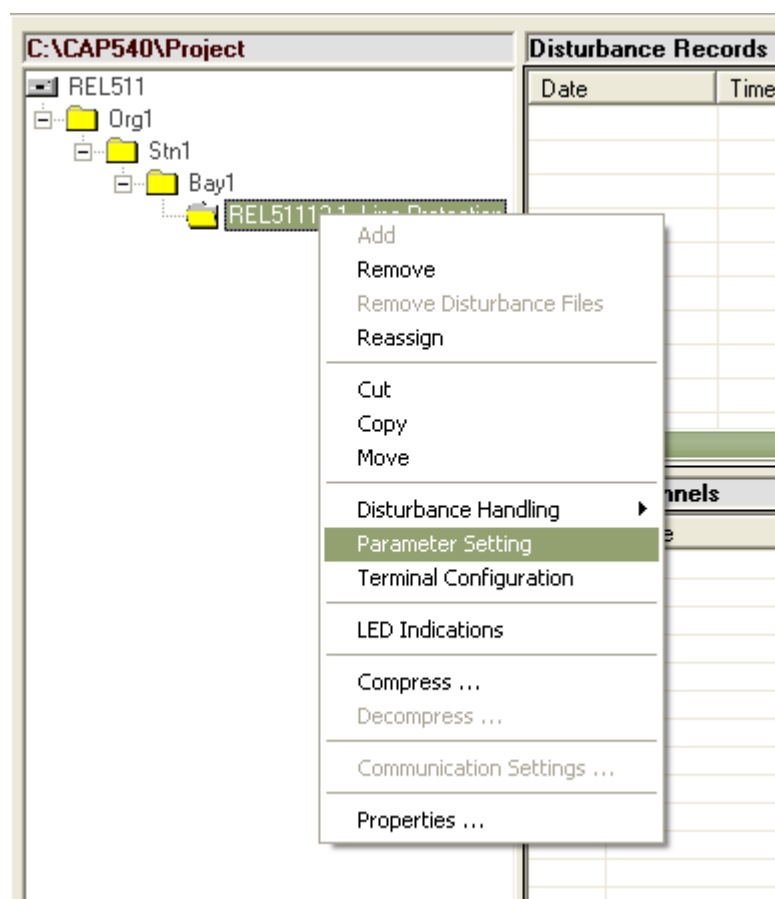
REx5xx	REx5xx/Config	.Config/SPAComm	.SPAComm/Front
Disturb.Report	FunctionInputs	Channel A	SlaveNo
Service Report	Binary Outputs	Channel B	BaudRate
Settings	Binary Inputs	Front	
Terminal Status	Identifiers		
Configuration	Frequency		
Test	Transformers		
Front Comm	I/O-modules		
	TimeSyncSource		
	BuiltInMMI		
	SPAComm		
	Differential		

Obr. 5-15: Úroveň přístupu do terminálu [10]

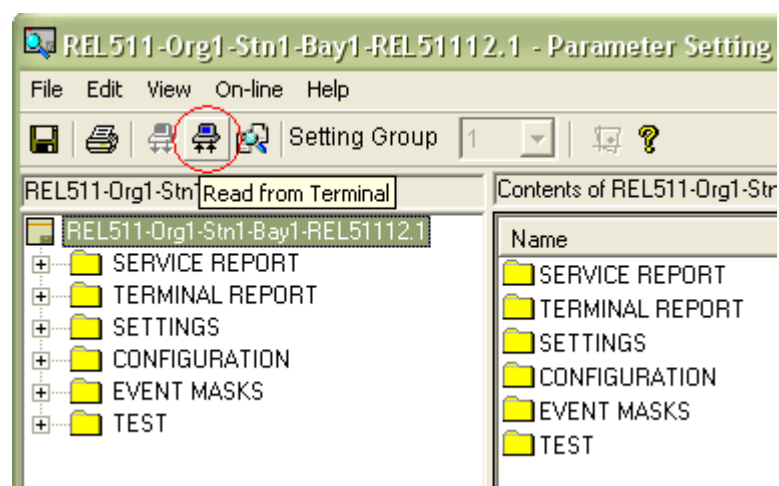
V dalším kroku se klikne pravým tlačítkem myši na vytvořený terminál a spustí se „Parameter Setting“ podle Obr. 5-16.

Jelikož není účelem ochranu zkonfigurovat a nastavit její parametry, použijeme už přednastavené parametry nastavené techniky ze společnosti ČEZ Distribuce ze Skupiny ČEZ, ze které byla tato ochrana darována. Ochraň byla provozována na vedení V629 ve směru na Bohumín v rozvodně 110/22 kV Doubrava, která představuje velmi důležitý energetický uzel na Karvinsku. Rozvodna byla rekonstruována a musela být přesunuta přibližně o 100 metrů kvůli důlním poklesům [12].

Nastavení ochrany se do CAPu nahraje tlačítkem „Read from Terminal“ podle Obr. 5-17.



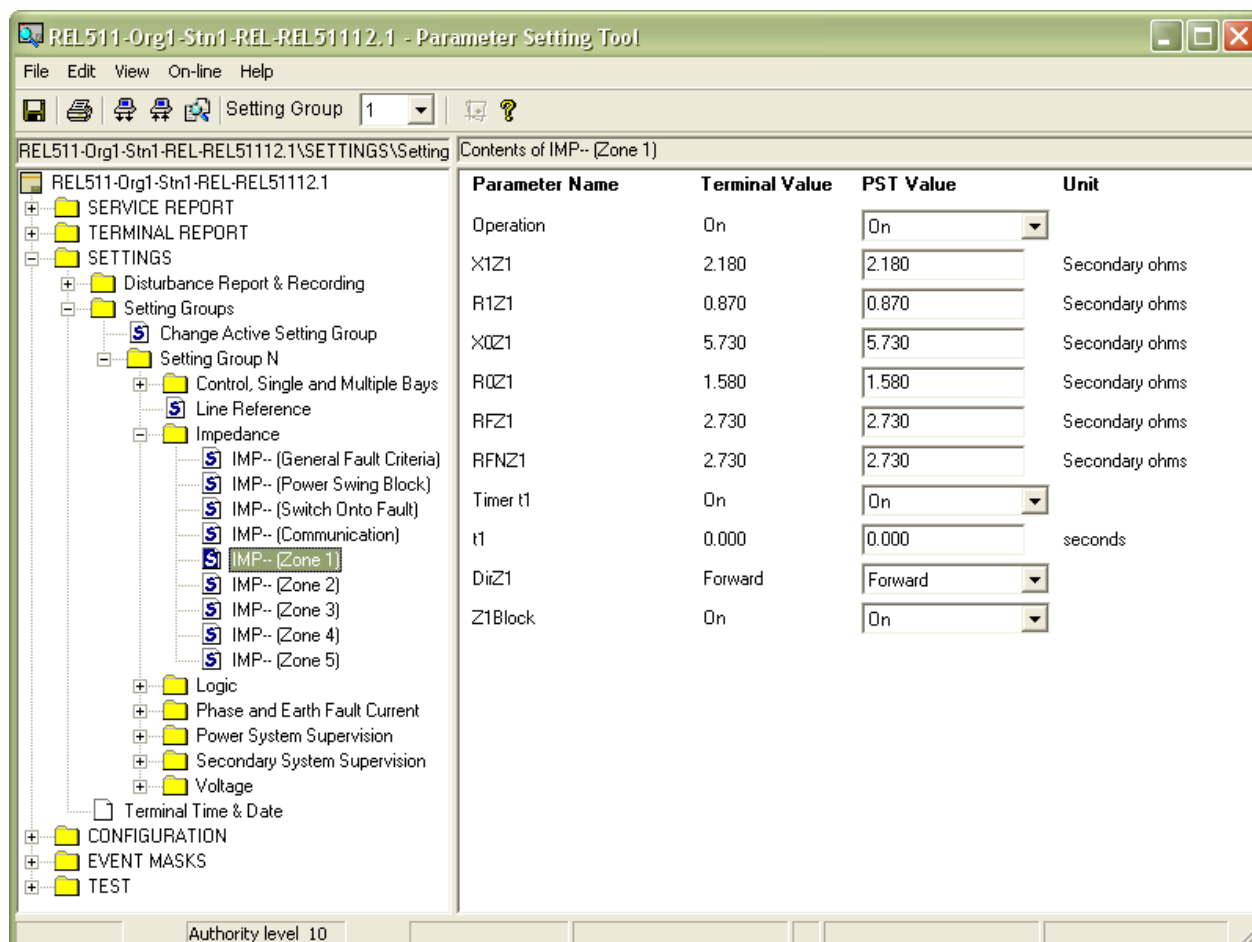
Obr. 5-16: Spuštění Parameter Setting



Obr. 5-17: Načtení nastavení ochrany do CAPu

5.7 Parametry impedanční charakteristiky

Po načtení parametrů z ochrany do CAPu se sepíší sekundární parametry jednotlivých zón (Obr. 5-18) do Tab. 5-2. Pro konstrukci impedanční charakteristiky budou potřeba parametry zón 1 - 4, které budou zkonstruovány v dopředném směru. Dále budou potřeba hodnoty popudové zóny (GFC).



Obr. 5-18: Sekundární parametry zóny 1

kde X1Z1 je sousledná složka reaktance - dosah zóny 1,

R1Z1 je sousledná složka odporu - dosah zóny 1,

X0Z1 je nulová složka reaktance - dosah zóny 1,

R0Z1 je nulová složka odporu - dosah zóny 1,

RFZ1 je odpor poruchy (oblouku) pro mezifázové a třífázové poruchy - dosah zóny 1,

RFNZ1 je odpor poruchy (oblouku) pro jednofázové zemní poruchy - dosah zóny 1,

Timer t1 je časový člen pro časové zpoždění působení distanční zóny 1,

t1 je časové zpoždění působení zóny 1,

DirZ1 je směrovost zóny 1 (dopředná).

Tab. 5-2: Sekundární parametry zón 1-4

Zóna 1	$t_1 = 30 \text{ ms}$						
X1Z1	R1Z1	X0Z1	R0Z1	RFZ1	RFNZ1		
[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]		
2,180	0,870	5,730	1,580	2,730	2,730		
Zóna 2	$t_2 = 0,7 \text{ s}$						
X1Z2	R1Z2	X0Z2	R0Z2	RFZ2	RFNZ2		
[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]		
2,540	0,990	8,530	2,310	5,460	5,460		
Zóna 3	$t_3 = 1 \text{ s}$						
X1Z3	R1Z3	X0Z3	R0Z3	RFZ3	RFNZ3		
[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]		
2,690	2,270	12,040	2,870	8,180	8,180		
Zóna 4	$t_4 = 2,7 \text{ s}$						
X1Z4	R1Z4	X0Z4	R0Z4	RFZ4	RFNZ4		
[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]		
25,200	21,480	27,400	21,260	10,910	10,910		
GFC	$t_{\text{GFC}} = 6 \text{ s}$						
X1GFCFw	X1GFCRv	X0GFCFw	X0GFCRv	RFGFC	RFNGFC	RLd	ARGLd
[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[°]
63,270	7,640	94,910	11,460	109,090	150,000	84,55	45

kde $X0GFCFw$ je nulová složka reaktance - nastavení dosahu v dopředném směru,
 $X0GFCRv$ je nulová složka reaktance - nastavení dosahu ve zpětném směru,
 $X1GFCFw$ je sousledná složka reaktance - nastavení dosahu v dopředném směru,
 $X1GFCRv$ je sousledná složka reaktance - nastavení dosahu ve zpětném směru,
 $RFGFC$ je odporový dosah pro vícefázové poruchy,
 $RFNGFC$ je odporový dosah pro jednofázové zemní poruchy,
 $ARGLd$ je úhel impedance zátěže,
 RLd je odporový dosah vztahený k minimálnímu odporu zátěže.

Z hodnot z Tab. 5-2 se určí body v impedanční rovině impedanční charakteristiky (Tab. 5-3).

Tab. 5-3: Body v impedanční rovině impedanční charakteristiky

	Ph - Ph			Ph - N		
	osa X	osa R	φ	osa X	osa R	φ
	[Ω]	[Ω]	[°]	[Ω]	[Ω]	[°]
Zóna 1	2,180	1,365	68,24	3,363	2,730	71,79
Zóna 2	2,540	2,730	68,71	4,537	5,460	72,50
Zóna 3	2,690	4,090	49,84	5,807	8,180	66,96
Zóna 4	25,200	5,455	49,56	25,933	10,910	50,46
GFC	Fw	54,545	RLd	Fw	150,000	RLdN
	63,270		[Ω]	73,817		[Ω]
	Rv		42,275	Rv		84,55
	7,640			8,913		

Ne všechny body impedanční roviny se dají z Tab. 5-2 určit jako například průsečík osy X v impedanční rovině Ph - Ph, který se shoduje se souslednou složkou reaktance $X1Z$ nebo průsečík osy R v impedanční rovině Ph - N, který se shoduje s odporem poruchy (oblouku) pro jednofázové zemní poruchy $RFNZ$. Zbytek bodů se z parametrů z Tab. 5-2 vypočítá následujícím způsobem:

Příklad výpočtu pro body v impedanční rovině Ph - Ph pro osu R v zóně 1:

$$R_{\text{zónal}} = \frac{RFZ1}{2} = \frac{2,730}{2} = 1,365\Omega \quad (5.1)$$

Příklad výpočtu pro úhel natočení φ v impedanční rovině Ph - Ph v zóně 1:

$$\varphi_{\text{zónal}} = \arctg\left(\frac{X1Z1}{R1Z1}\right) = \arctg\left(\frac{2,180}{0,870}\right) = 68,24^\circ \quad (5.2)$$

Příklad výpočtu pro body v impedanční rovině Ph - N pro osu X v zóně 1:

$$X_{\text{zónal}} = \frac{2}{3} X1Z1 + \frac{1}{3} X0Z1 = \frac{2}{3} \cdot 2,180 + \frac{1}{3} \cdot 5,730 = 3,363\Omega \quad (5.3)$$

Příklad výpočtu pro úhel natočení φ v impedanční rovině Ph - Ph v zóně 1:

$$\varphi_{\text{zónal}} = \arctg\left(\frac{2 \cdot X1Z1 + X0Z1}{2 \cdot R1Z1 + R0Z1}\right) = \arctg\left(\frac{2 \cdot 2,180 + 5,730}{2 \cdot 0,870 + 1,580}\right) = 77,79^\circ \quad (5.4)$$

U obecného kritéria poruchy je určení bodů impedanční roviny obdobné jako u zón 1-4. Průsečík osy X v impedanční rovině Ph - Ph pro dopředný směr se shoduje se souslednou složkou reaktance pro dosah v dopředném směru $X1GFCFw$ a pro zpětný směr se souslednou složkou reaktance pro dosah ve zpětném směru $X1GFCRv$. Průsečík osy R v impedanční rovině Ph - N se shoduje s odporovým dosahem pro jednofázové zemní poruchy $RFNGFC$. Průsečík v ose R v impedanční rovině Ph - N odporového dosahu vztaženého k minimálnímu odporu zátěže $RLdN$ v Tab. 5-3 se shoduje s odporovým dosahem vztaženým k minimálnímu odporu zátěže RLd z Tab. 5-2. Zbytek bodů se z parametrů z Tab. 5-2 vypočítá následujícím způsobem:

Výpočet bodu v impedanční rovině Ph - Ph pro osu R v GFC:

$$R_{\text{GFC}} = \frac{RFGFC}{2} = \frac{109,090}{2} = 54,545\Omega \quad (5.5)$$

Výpočet bodu v impedanční rovině Ph - Ph pro osu R odporového dosahu vztaženého k minimálnímu odporu zátěže RLd pro GFC:

$$RLd_{\text{GFC}} = \frac{RLd}{2} = \frac{84,550}{2} = 42,275\Omega \quad (5.6)$$

Výpočet bodu v impedanční rovině Ph - N pro osu X pro dopředný směr v GFC:

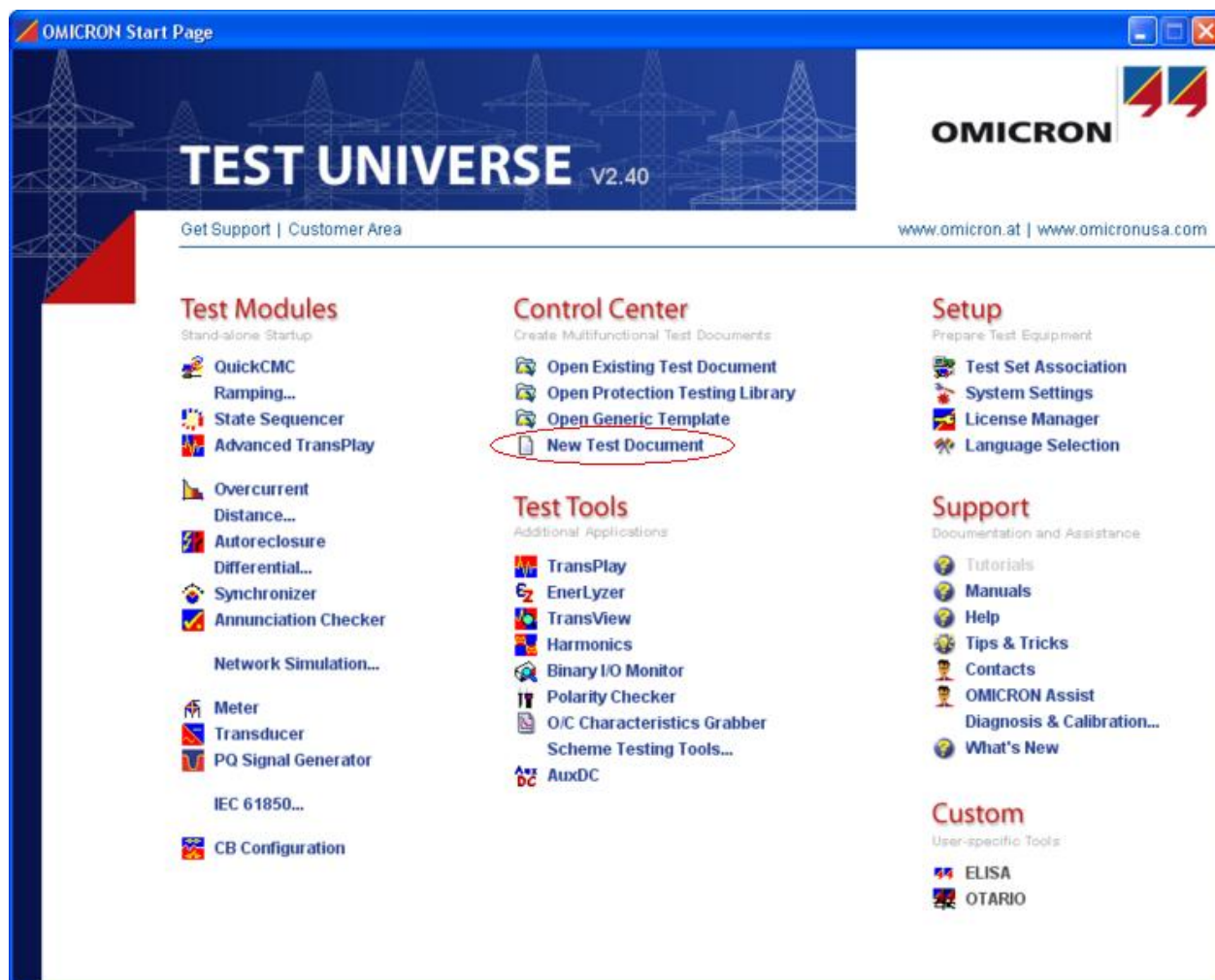
$$X_{\text{GFCFw}} = \frac{2}{3} X1GFCFw + \frac{1}{3} X0GFCFw = \frac{2}{3} \cdot 63,270 + \frac{1}{3} \cdot 94,910 = 73,817\Omega \quad (5.7)$$

Výpočet bodu v impedanční rovině Ph - N pro osu X pro zpětný směr v GFC:

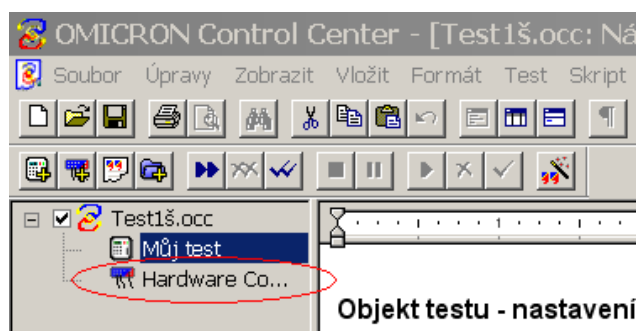
$$X_{\text{GFCRv}} = \frac{2}{3} X1GFCRv + \frac{1}{3} X0GFCRv = \frac{2}{3} \cdot 7,640 + \frac{1}{3} \cdot 11,460 = 8,913\Omega \quad (5.8)$$

5.8 Nastavení hardwaru

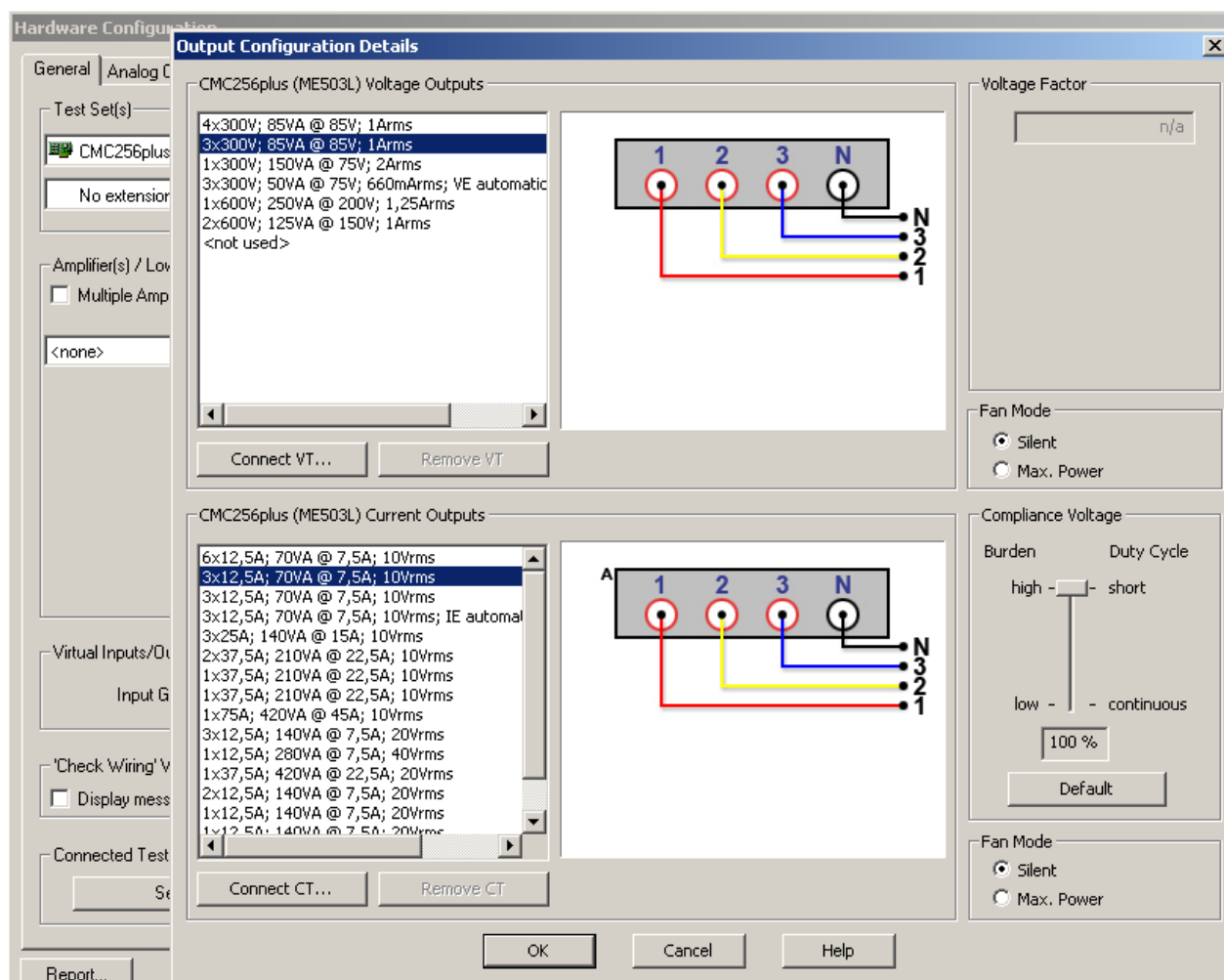
V programu Test Universe se založí nový projekt „New Test Document“ podle Obr. 5-19. V založeném projektu první řadě se musí nastavit „Hardware Configuration“ (Obr. 5-20) podle schématu zapojení DO REL 511 (Obr. 5-6). V záložce „General“ v okně „Test Set(s)“ se musí v položce „Details“ nastavit výstupní svorky z TZ podle Obr. 5-21. V další záložce „Binary / Analog Inputs“ se nastaví binární vstupy podle Obr. 5-22, kde „Trip L1 - 3“ představuje vypnutí fáze 1 - 3 a „Trip“ představuje společné vypnutí všech fází.



Obr. 5-19: Založení nového testu v programu Test Universe



Obr. 5-20: Otevření nastavení Hardware Configuration



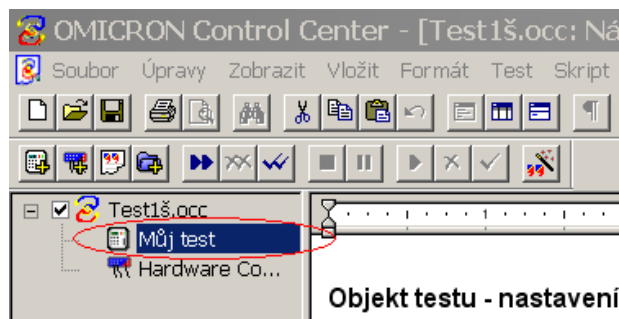
Obr. 5-21: Nastavení výstupních svorek v Hardware Configuration v záložce General

Hardware Configuration										
General Analog Outputs Binary / Analog Inputs Binary Outputs DC Analog Inputs IIRIG-B & GPS										
Function		Binary		Binary		Binary		Binary		Bi
Potential Free		☒		☒		☒		☒		
Nominal Range										
Clamp Ratio										
Threshold										
Display Name	Connection Terminal	1+	1-	2+	2-	3+	3-	4+	4-	5+
Trip L1		X								
Trip L2				X						
Trip L3						X				
Trip								X		

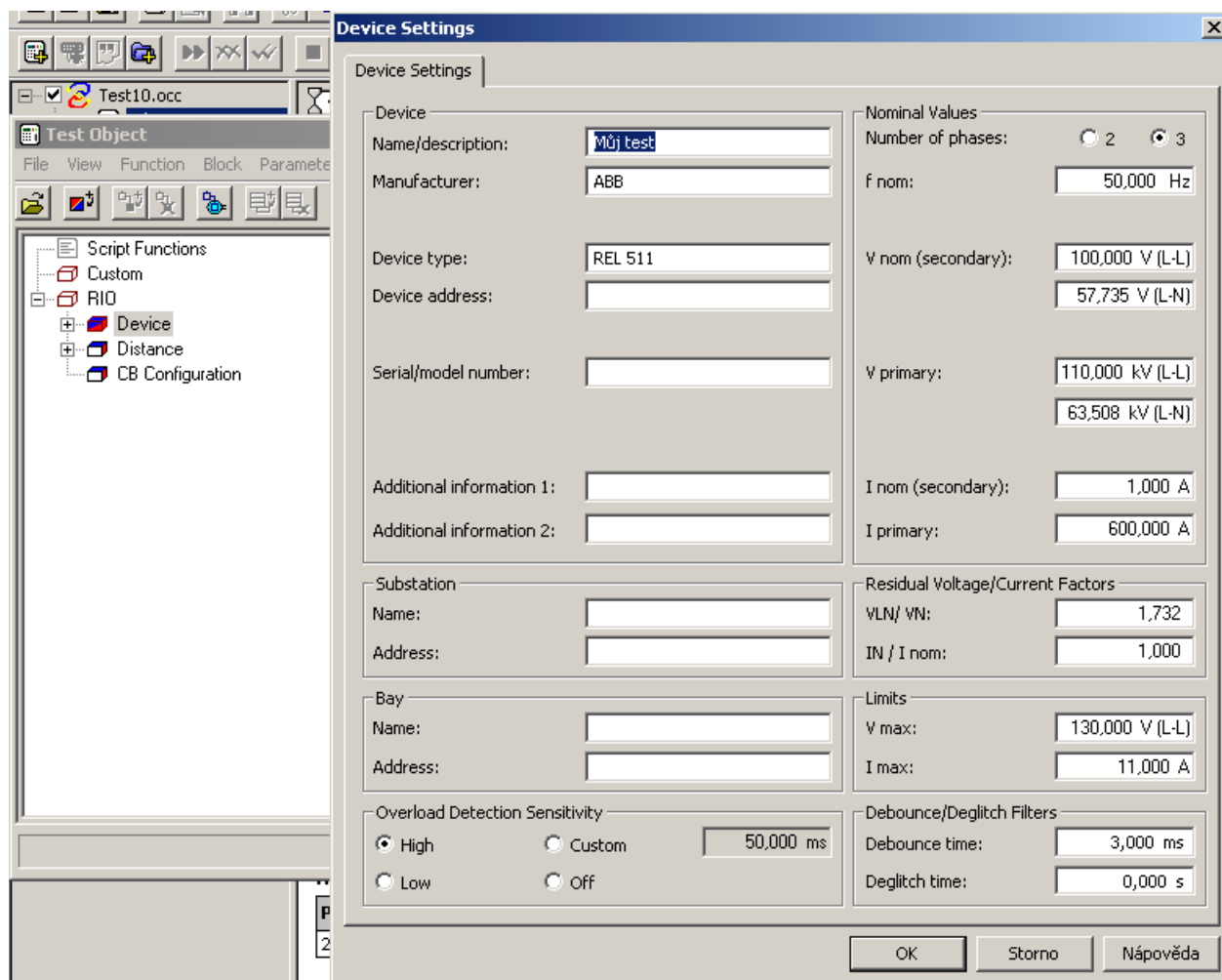
Obr. 5-22: Nastavení binárních vstupů v Hardware Configuration

5.9 Konstrukce impedanční charakteristiky

V „Test Object“ (Obr. 5-23) se v položce „Device“ provede nastavení parametrů zařízení podle Obr. 5-24, kde se nastaví primární a sekundární hodnoty měřících transformátorů napětí a proudu.

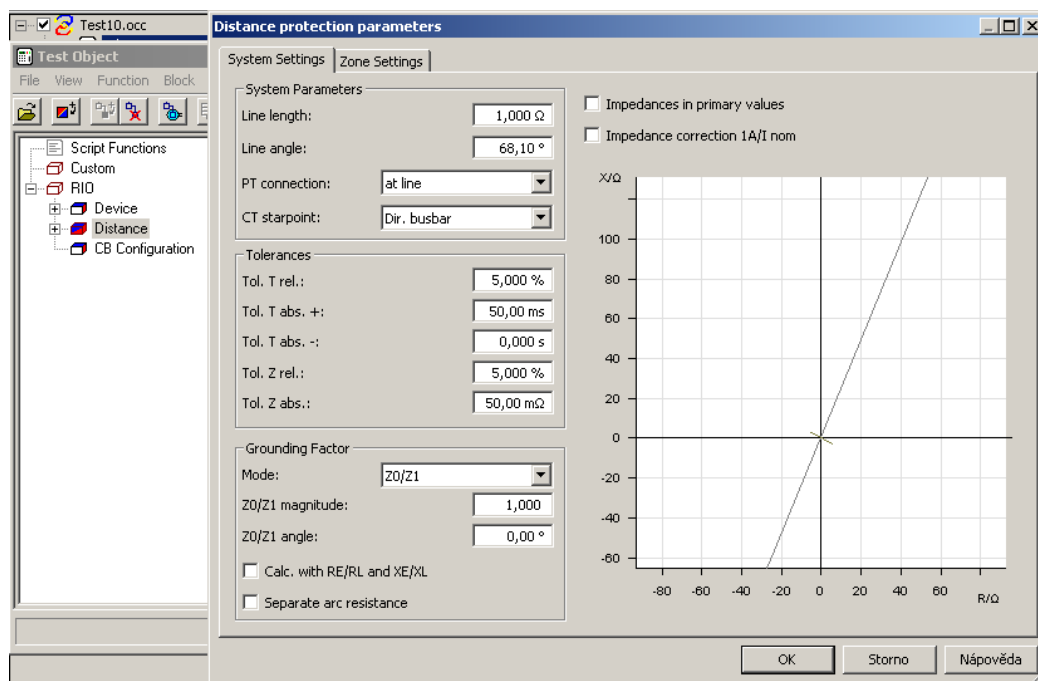


Obr. 5-23: Otevření Test Objectu



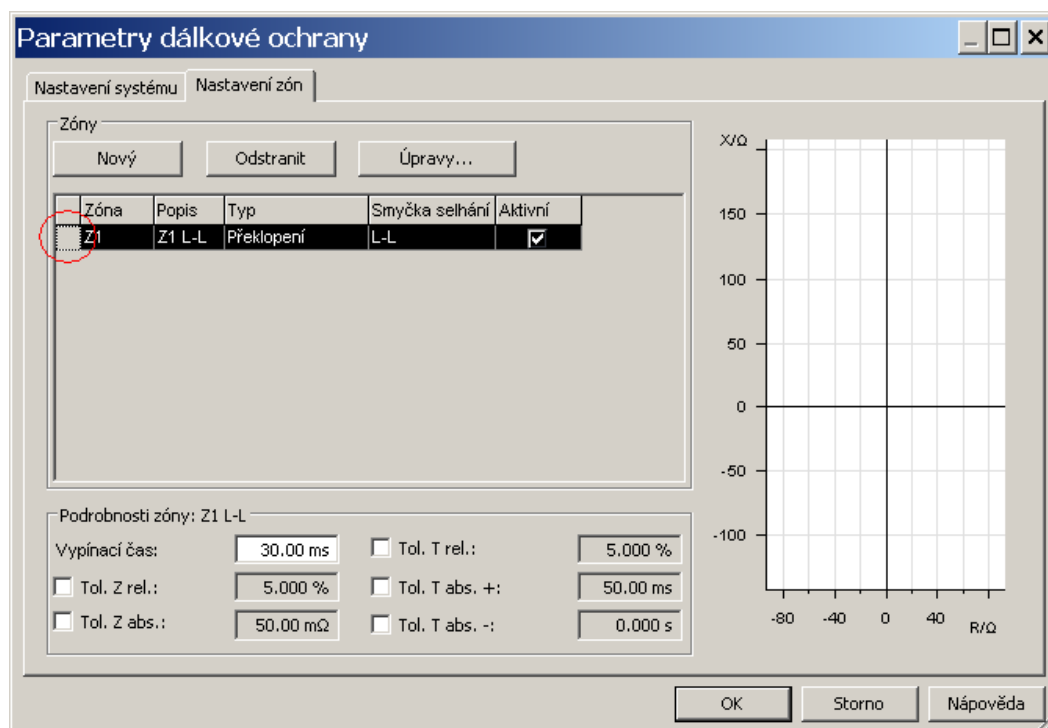
Obr. 5-24: Nastavení parametrů měřících transformátorů napětí a proudu

V modulu „Distance“ v systémovém nastavení (Obr. 5-25) se nastaví v „PT connection“ směrování začátků vinutí měřících transformátorů k lince, tedy „at line“ a v „CT starpoint“ přizemnění přístrojových transformátorů směrem do přípojníc, tedy „Direction busbar“.



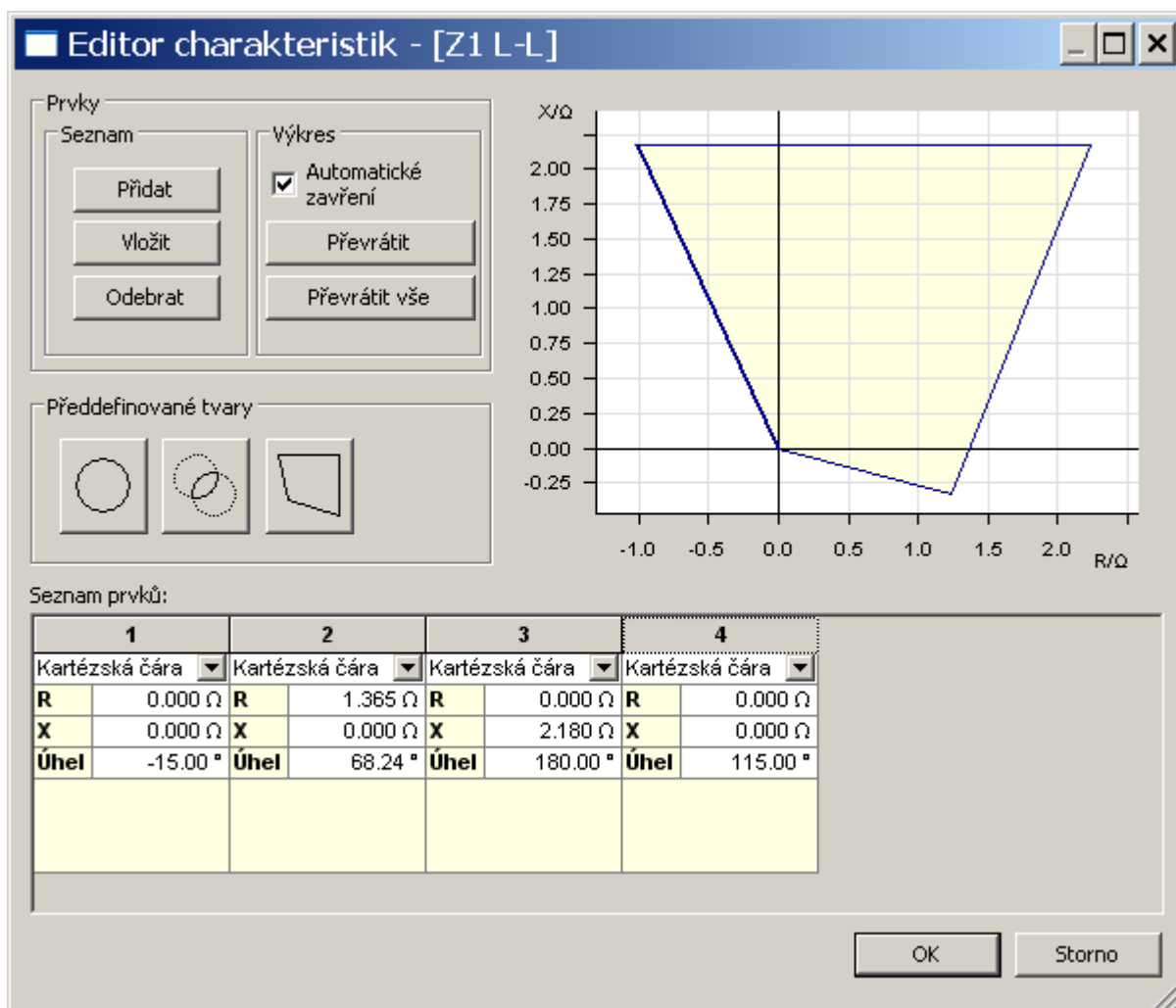
Obr. 5-25: Systémové nastavení v modulu distance

Přejde se do záložky „Zone Settings“, kde se začnou konstruovat jednotlivé zóny. Přidá se nová zóna a nastaví se její „Fault loop“ smyčka selhání pro jednofázové zemní „L-E“ nebo mezifázové „L-L“ zkraty. Nejdůležitější je nezapomenout nastavit „Tripping Time“ vypínací čas zóny, který se zjistí z Tab. 5-2. U zóny 1 je vypínací čas nastaven na 30 ms, což představuje vlastní čas ochrany. Spustí se editor charakteristik a to tak, že se klikne na šedý „čtvereček“ umístěný před nastavením zóny (Obr. 5-26).



Obr. 5-26: Nastavení zóny 1

DO REL 511 je digitální ochrana, která má čtyřúhelníkový tvar impedanční charakteristiky. V editoru charakteristik se zvolí tento předdefinovaný čtyřúhelníkový tvar. Parametry charakteristik potřebné pro sestrojení všech zón jsou v Tab. 5-3. Sestrojená zóna 1 je vidět na Obr. 5-27. Stejným způsobem se provede konstrukce zón 2-4. Zbylé sestrojené zóny jsou uvedeny v Příloha A - Konstrukce zón.



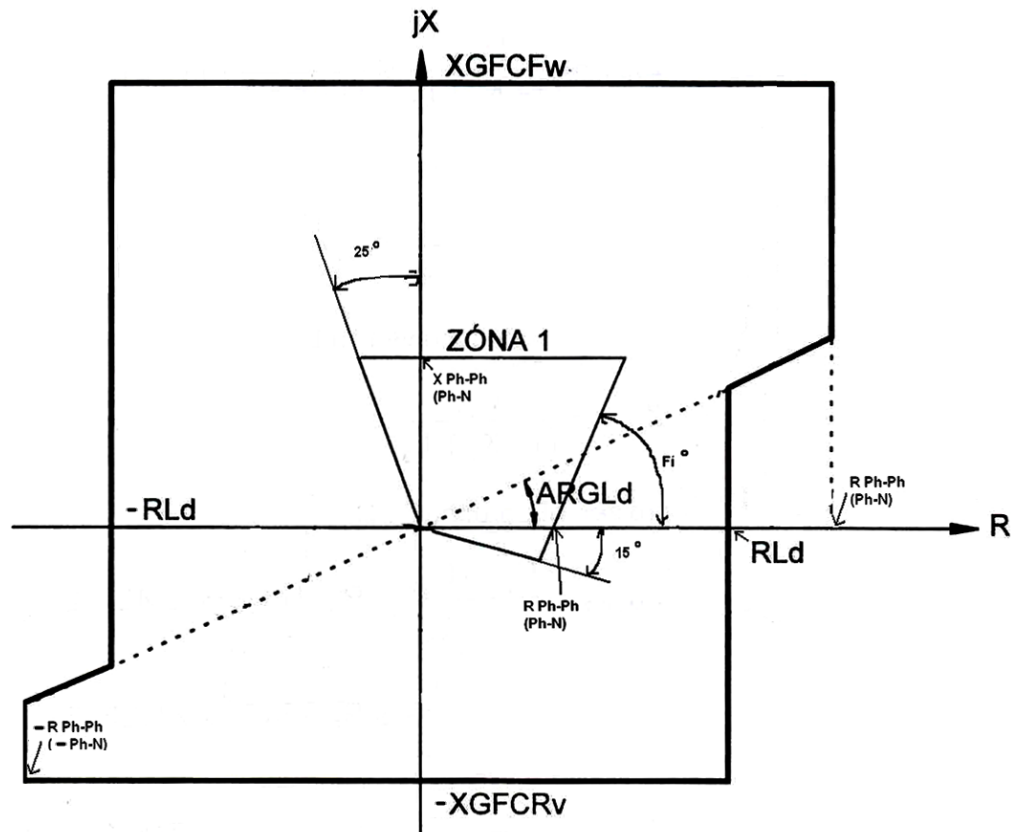
Obr. 5-27: Konstrukce zóny 1 pro mezifázové poruchy

Charakteristika v reaktančním směru je přímková, rovnoběžná s osou R . Nastavení reaktančního dosahu je pro jednotlivé zóny nezávislé.

V odporovém směru je charakteristika ohraničena přímkou, která je rovnoběžná s charakteristikou vedení. To znamená, že tato přímka svírá s osou R charakteristický úhel vedení φ .

Směrová charakteristika ve druhém kvadrantu svírá s osou X úhel 25° . Ve čtvrtém kvadrantu svírá s osou R úhel 15° .

Postup konstrukce popudové charakteristiky je znázorněna na Obr. 5-28. Nastavení všech zón je na Obr. 5-29 a sestrojená výsledná impedanční charakteristika je na Obr. 5-30.



Obr. 5-28: Konstrukce popudové zóny

Parametry dálkové ochrany

Nastavení systému

Nastavení zón

Zóny

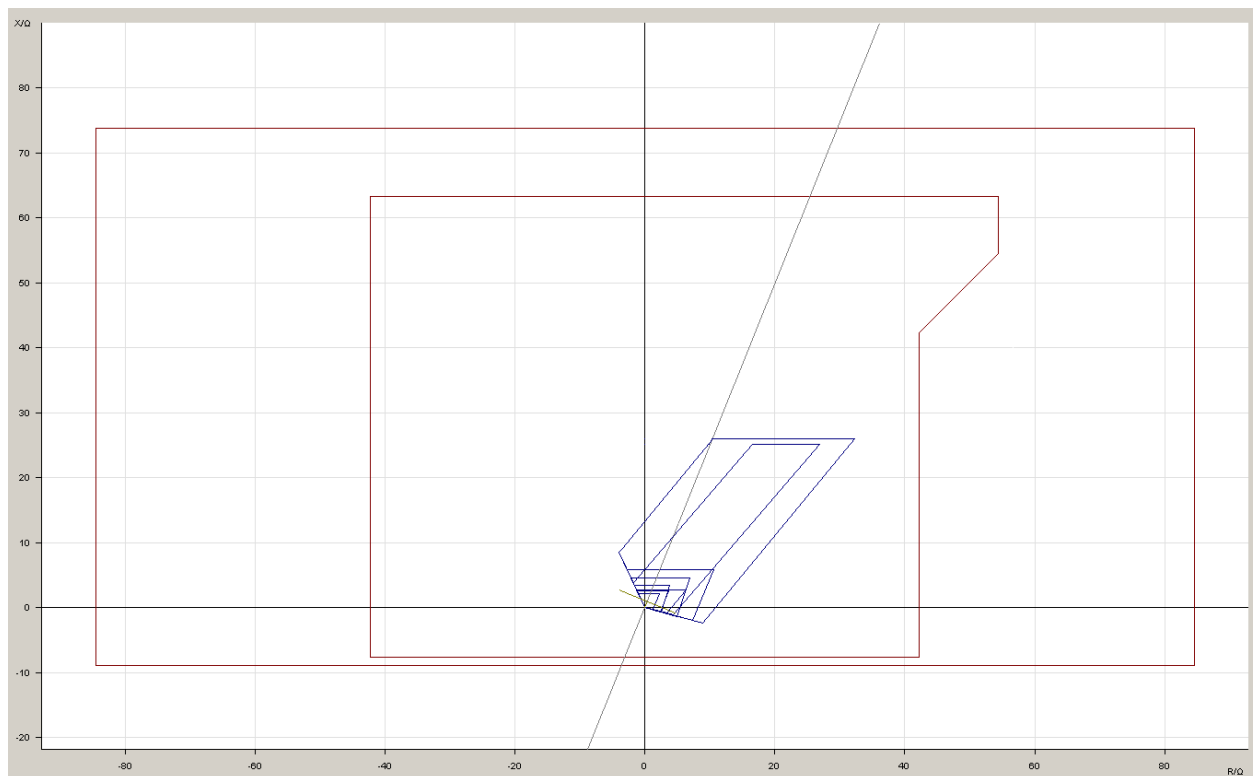
Nový

Odstranit

Úpravy...

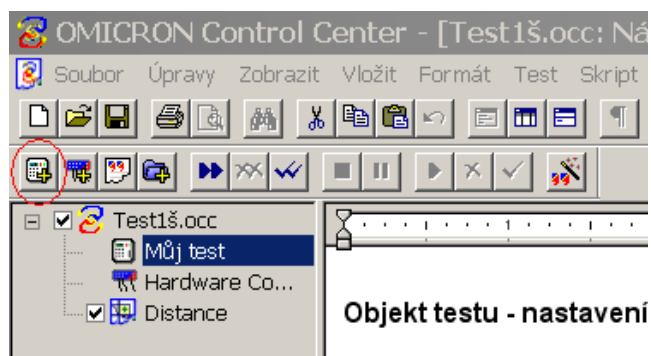
Zóna	Popis	Typ	Smyčka selhání	Aktivní
Z1	Z1 L-L	Překlopení	L-L	☒
Z1	Z1 L-E	Překlopení	L-E	☒
Z2	Z2 L-L	Překlopení	L-L	☒
Z2	Z2 L-E	Překlopení	L-E	☒
Z3	Z3 L-L	Překlopení	L-L	☒
Z3	Z3 L-E	Překlopení	L-E	☒
Z4	Z4 L-L	Překlopení	L-L	☒
Z4	Z4 L-E	Překlopení	L-E	☒
ZS6	ZS6 L-L	Spuštění	L-L	☒
ZS7	ZS7 L-E	Spuštění	L-E	☒

Obr. 5-29: Nastavení všech zón



Obr. 5-30: Výsledná impedanční charakteristika

Po sestrojení charakteristiky se vrátí zpět do základního okna vytvořeného testu a vytvoří se zde modul „Distance“ pomocí prvního tlačítka „Přidat modul“, umístěného v druhém řádku panelu nástrojů rychlého přístupu (Obr. 5-31) Dále se stiskne tlačítko přepočítání „“.



Obr. 5-31: Přidání modulu Distance

5.10 Modul Distance

Sestrojená charakteristika se následně přepíše do modulu „Distance“. Tento modul se dvojklikem spustí. V modulu „Distance“ je potřeba ještě zkontrolovat nastavení binárních vstupů „Binary / Analog Inputs“ v „Hardware Configuration“ dle Obr. 5-32.

			Binary					Binary					Binary					Binary				
Function			Binary					Binary					Binary					Binary				
Potential Free			☒					☒					☒					☒				
Nominal Range																						
Clamp Ratio																						
Threshold																						
Test Module Input Signal	Display Name	Connection Terminal	1+	1-	2+	2-	3+	3-	4+	4-	5+											
Trip L1	Trip L1		X																			
Trip L2	Trip L2				X																	
Trip L3	Trip L3						X															
Trip	Trip								X													

Obr. 5-32: Kontrola binárních vstupů v modulu Distance v Hardware Configuration

5.10.1 Prodloužení času maximálního selhání

Jelikož je čas vypínání popudové zóny nastaven stejně jako přednastavený čas maximálního selhání poruchy „Max. fault“ v modulu „Distance“ a to na dobu 6 s, je potřeba tento čas maximálního selhání prodloužit, poněvadž by se mohlo stát, že by se simulovaný zkrat nacházející se v popudové zóně nevypnul, protože by přednastavenou dobu 6 sekund přesáhl. Tudíž se doba maximálního selhání změní například na 8 s (Obr. 5-33).

Náhled testu: Distance v Test1š.occ

Bodový test | Nastavení | Aktivační signál

Model testu: Konstantní testovací proud

ITest: 2.000 A

Maximální impedance selhání

L-E: 34,64 Ω

L-L: 30,00 Ω

L-L-L: 34,64 Ω

V max (L-L): 120,0 V

☐ Povolit redukci ITest

Vznik selhání

Režim: náhodně

Úhel: nelze

☐ Vysunutí SS

Počet

Před selháním: 1.000 s

Max. selhání: 8.000 s

Po selhání: 500,0 ms

Časová reference: Vznik selhání

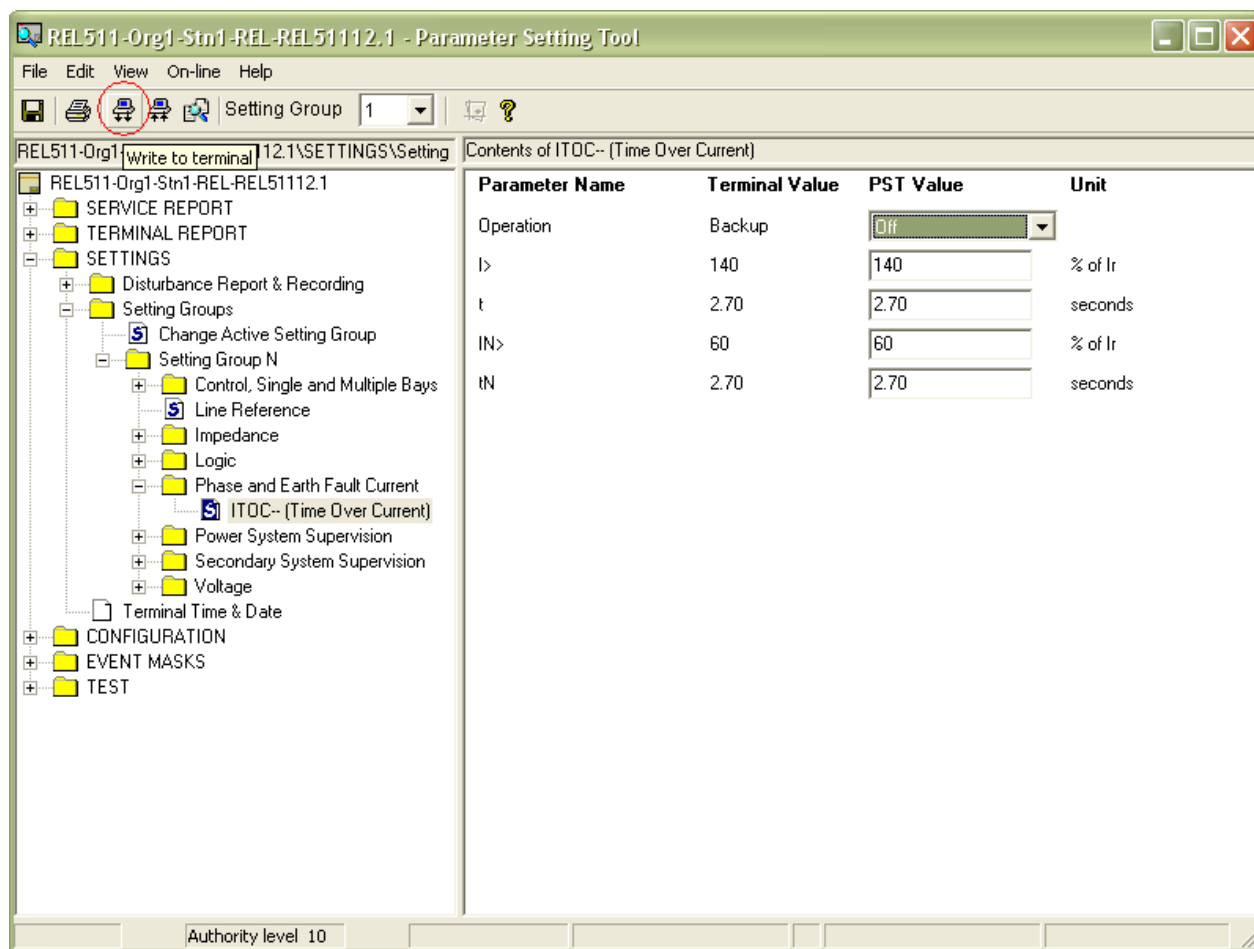
☐ Přesahové zóny aktivní

☒ Vypnout při průchodu nulou

Obr. 5-33: Změna času maximálního selhání

5.11 Vypnutí nadproudové ochrany

Pro správně měření vypínací charakteristiky je důležité vypnout nadproudovou ochranu, která se v REL 511 nachází. Tato ochrana má nastaven vypínací čas na 2,7 s stejně jako vypínací čas zóny 4. Vypnutí nadproudové ochrany se provede v CAP 540 a to tak, že se ve stromovém menu ve složce „Phase and Earth Fault Current“, v řádce „Operation“ místo „Backup“ zvolí „Off“ a změna se přehraje do ochrany tlačítkem „Write to terminal“. Tímto postupem se nadproudová ochrana vyřadí z provozu.

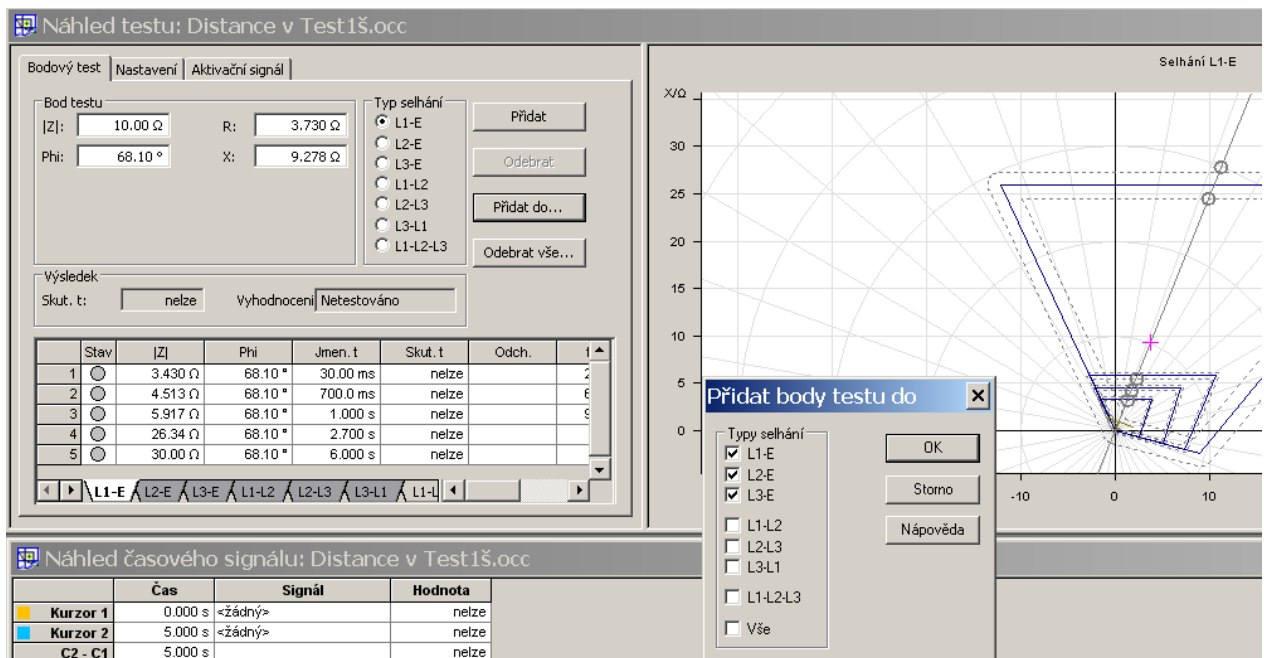


Obr. 5-34: Vypnutí nadproudové ochrany

6 MĚŘENÍ DISTANČNÍ OCHRANĚ REL 511

Jelikož ve školní verzi programu OMICRON Test Universe nejsou všechny moduly, jako v úplné verzi tohoto programu, muselo se trochu improvizovat. Pro rýsování charakteristiky se nepoužil modul „Advance Distance“, ve kterém se impedanční charakteristika normálně rýsuje. Použil se tedy modul „Distance“ a charakteristika se rýsovala přímo v „RIO“ formátu. Stejný problém byl i u typů testu, kdy byl v modulu „Distance“ k dispozici jen tzv. bodový test „Shot Test“, kdy se charakteristika proměřuje bod po bodu a body si uživatel zadává sám. Tímto testem se proměřila jak charakteristika pro jednofázové zemní poruchy, tak charakteristika pro mezifázové poruchy.

Přidávání bodu ke všem jednofázovým zemním poruchám je znázorněno na Obr. 6-1. Označí se bod klikem libovolně na charakteristice, klikne se na přidání bodu „Add to...“, poté se zvolí, ke kterým fázím se testovaný bod přidá.

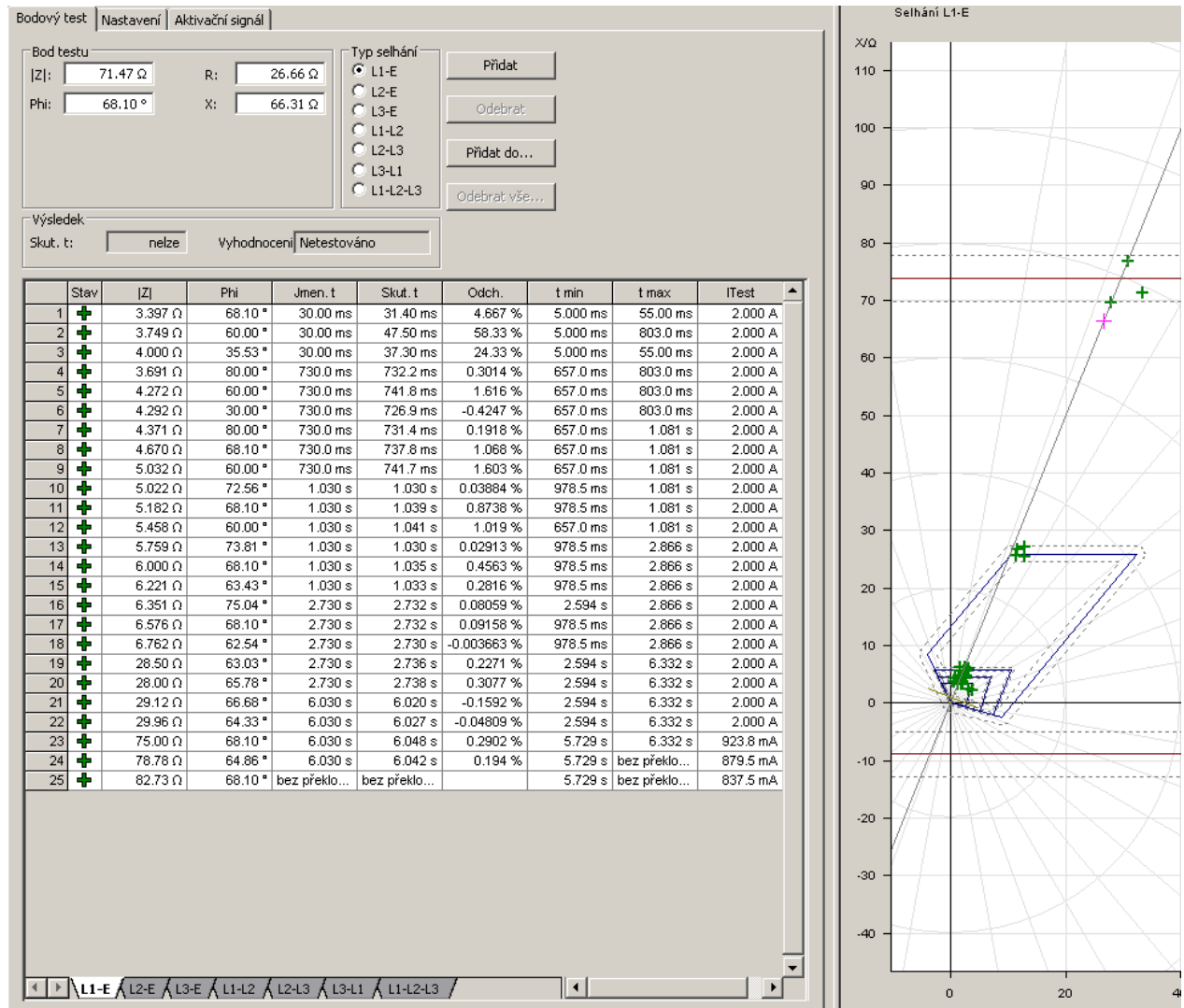


Obr. 6-1: Přidání bodu do impedanční charakteristiky

6.1 Měření a jeho výsledky

Bodovým testem se snažila proměřit přímka vedení, kdy se jednotlivé body rozmísťovali podél této přímky, přidávali se do tolerančních hraničních oblastí zón a sledovalo se, v jakém vypínacím čase ochrana tyto poruchy vypne (Obr. 6-2).

Výsledkem měření impedanční charakteristiky v modulu „Distance“ je protokol o měření, v kterém se nachází tabulky s proměřenými body. Tabulka obsahuje absolutní hodnotu impedance, úhel natočení, jmenovitou dobu vypnutí t_n , skutečnou dobu vypnutí t_{skut} , procentuální odchylku, hodnotu testovacího proudu a vyhodnocení měření. Výsledek měření bodového testu pro poruchu v L1 - L2 je uveden v Tab. 6-1 a výsledek měření bodového testu pro poruchu v L1 - N je uveden v Tab. 6-2. Ostatní výsledky měření jsou uvedeny v Příloha B - Výsledky měření.



Obr. 6-2: Bodový test pro jednofázové zemní zkratky v L1 - N

Tab. 6-1: Bodový test pro mezifázové poruchy v L1 - L2

Z	φ	Jmenovitá doba vypnutí t_n	Skutečná doba vypnutí t_{skut}	Odchylka	Testovací proud	Vyhodnocení
1,000 Ω	68,10 °	30,00 ms	30,20 ms	0,6667 %	2,000 A	Úspěšné
2,161 Ω	68,10 °	30,00 ms	33,90 ms	13 %	2,000 A	Úspěšné
2,502 Ω	54,98 °	30,00 ms	41,70 ms	39 %	2,000 A	Úspěšné
2,535 Ω	70,00 °	730,0 ms	730,2 ms	0,0274 %	2,000 A	Úspěšné
2,667 Ω	64,15 °	730,0 ms	738,9 ms	1,219 %	2,000 A	Úspěšné
3,000 Ω	55,31 °	730,0 ms	730,0 ms	0 %	2,000 A	Úspěšné
2,850 Ω	68,10 °	1,030 s	1,030 s	0,0194 %	2,000 A	Úspěšné
4,707 Ω	31,81 °	1,030 s	1,032 s	0,1748 %	2,000 A	Úspěšné
3,000 Ω	70,00 °	2,730 s	2,733 s	0,1026 %	2,000 A	Úspěšné
3,218 Ω	63,95 °	2,730 s	2,734 s	0,1612 %	2,000 A	Úspěšné
3,353 Ω	72,65 °	2,730 s	2,730 s	0,0147 %	2,000 A	Úspěšné
34,00 Ω	47,39 °	2,730 s	2,728 s	-0,0769 %	1,765 A	Úspěšné
35,00 Ω	45,52 °	2,730 s	2,736 s	0,2125 %	1,714 A	Úspěšné
34,41 Ω	48,06 °	6,030 s	2,734 s	-54,67 %	1,743 A	Úspěšné
35,36 Ω	46,38 °	6,030 s	6,023 s	-0,1128 %	1,697 A	Úspěšné
65,99 Ω	68,10 °	6,030 s	6,042 s	0,204 %	909,3 mA	Úspěšné
71,47 Ω	68,10 °	bez překlopení	bez překlopení		839,5 mA	Úspěšné

Tab. 6-2: Bodový test pro jednofázové zemní poruchy v L1 - N

$ Z $	φ	Jmenovitá doba vypnutí t_n	Skutečná doba vypnutí t_{skut}	Odchylka	Testovací proud	Vyhodnocení měření
3,397 Ω	68,10 °	30,00 ms	31,40 ms	4,667 %	2,000 A	Úspěšné
3,749 Ω	60,00 °	30,00 ms	47,50 ms	58,33 %	2,000 A	Úspěšné
4,000 Ω	35,53 °	30,00 ms	37,30 ms	24,33 %	2,000 A	Úspěšné
3,691 Ω	80,00 °	730,0 ms	732,2 ms	0,3014 %	2,000 A	Úspěšné
4,272 Ω	60,00 °	730,0 ms	741,8 ms	1,616 %	2,000 A	Úspěšné
4,292 Ω	30,00 °	730,0 ms	726,9 ms	-0,4247 %	2,000 A	Úspěšné
4,371 Ω	80,00 °	730,0 ms	731,4 ms	0,1918 %	2,000 A	Úspěšné
4,670 Ω	68,10 °	730,0 ms	737,8 ms	1,068 %	2,000 A	Úspěšné
5,032 Ω	60,00 °	730,0 ms	741,7 ms	1,603 %	2,000 A	Úspěšné
5,022 Ω	72,56 °	1,030 s	1,030 s	0,0388 %	2,000 A	Úspěšné
5,182 Ω	68,10 °	1,030 s	1,039 s	0,8738 %	2,000 A	Úspěšné
5,458 Ω	60,00 °	1,030 s	1,041 s	1,019 %	2,000 A	Úspěšné
5,759 Ω	73,81 °	1,030 s	1,030 s	0,0291 %	2,000 A	Úspěšné
6,000 Ω	68,10 °	1,030 s	1,035 s	0,4563 %	2,000 A	Úspěšné
6,221 Ω	63,43 °	1,030 s	1,033 s	0,2816 %	2,000 A	Úspěšné
6,351 Ω	75,04 °	2,730 s	2,732 s	0,0806 %	2,000 A	Úspěšné
6,576 Ω	68,10 °	2,730 s	2,732 s	0,0916 %	2,000 A	Úspěšné
6,762 Ω	62,54 °	2,730 s	2,730 s	-0,0037 %	2,000 A	Úspěšné
28,50 Ω	63,03 °	2,730 s	2,736 s	0,2271 %	2,000 A	Úspěšné
28,00 Ω	65,78 °	2,730 s	2,738 s	0,3077 %	2,000 A	Úspěšné
29,12 Ω	66,68 °	6,030 s	6,020 s	-0,1592 %	2,000 A	Úspěšné
29,96 Ω	64,33 °	6,030 s	6,027 s	-0,0481 %	2,000 A	Úspěšné
75,00 Ω	68,10 °	6,030 s	6,048 s	0,2902 %	923,8 mA	Úspěšné
78,78 Ω	64,86 °	6,030 s	6,042 s	0,194 %	879,5 mA	Úspěšné
82,73 Ω	68,10 °	bez vypnutí	bez vypnutí		837,5 mA	Úspěšné

6.2 Zhodnocení měření

Z Tab. 6-1 bodového testu pro mezifázové poruchy v L1 - L2 lze vyčíst, že největší rozdíl mezi jmenovitou (předpokládanou) dobou vypnutí t_n a skutečnou dobou vypnutí t_{skut} je -54,67 % u bodu s absolutní impedancí $|Z| = 34,41 \Omega$ a úhlem natočení $\varphi = 48,06^\circ$. Poloha bodu je v zóně popudu, která má nastavený čas vypnutí 6 s, avšak bod leží ještě v toleranční hranici zóny 4, která má nastavený čas vypnutí 2,7 s, tudíž ochrana vyhodnotí, že se bod nachází v zóně 4 a vypne za dobu 2,734 s. Poslední měřený bod v této tabulce s absolutní impedancí $|Z| = 71,47 \Omega$ a úhlem natočení $\varphi = 48,06^\circ$ je umístěný až za zónou popudu, tedy ochrana správně vyhodnotila, že nevydá povel k vypnutí vypínače.

Z Tab. 6-2 bodového testu pro jednofázové zemní poruchy v L1 - N lze vyčíst, že největší rozdíl mezi předpokládanou dobou vypnutí t_n a skutečnou dobou vypnutí t_{skut} je 58,33 % u bodu s absolutní impedancí $|Z| = 3,397 \Omega$ a úhlem natočení $\varphi = 68,10^\circ$, s polohou v zóně 1, která má nastavenou předpokládanou dobu vypnutí 30 ms, což je vlastní doba ochrany. Tato chyba může být způsobena nedostatečně přesnou reakcí relátka ochrany. Stejně jako v předchozí tabulce, i tady je bod, který je umístěný až za zónou popudu, i tady ochrana situaci správně vyhodnotila a nevydala žádný povel na vypínač.

Všechny testované body představující poruchu, ochrana vypnula v čase blízkém jejich předpokládanému času vypnutí t_n nebo v čase toleranční oblasti, ve které se body nacházely, tudíž byl celkový stav testu vyhodnocen jako úspěšný.

7 ZÁVĚR

Úkolem této bakalářské práce bylo seznámit se s distanční ochranou REL 511, navrhnout vhodnou metodiku pro měření vypínací charakteristiky a touto metodou otestovat funkčnost distanční ochrany REL 511.

Jak už bylo řečeno distanční (impedanční) ochrany jsou stále jedny z nejvíce používaných ochran. Jsou jimi vybaveny jak vedení vysokého a velmi vysokého napětí, tak i transformátory a generátory velkých výkonů, kde se tato ochrana používá jako záložní.

Distanční ochrana patří mezi ochrany stupňovité. V místě připojení měří přes přístrojové transformátory proudy a napětí. Z těchto naměřených hodnot stanoví impedanci, kterou porovnává s nastavenou impedanční charakteristikou. Klesne-li měřená impedance pod nastavenou hodnotu, tak se ochrana vypne.

Bakalářská práce by se dala rozdělit na dvě části. Na část teoretickou a část praktickou. Teoretická část pojednává o ochranách obecně, věnuje se jejich rozdělení a třídění. Dále se zabývá problematikou distančních ochran, principem činnosti, seznámením se s funkcí jejich jednotlivých členů a popisem možných druhů impedančních charakteristik měřících členů distanční ochrany. Posuzuje se zde také vliv zkratu na homogenní vedení a kompenzace stejnosměrné složky. Zmíněny jsou také stupně působení distanční ochrany a jejich jednotlivé vazby. V neposlední řadě se teoretická část zabývá digitálními distančními ochranami, jejich algoritmy a vzorkováním. Dále se podrobněji zabývá typy popudových členů a jejich impedanční charakteristikou digitální distanční ochrany. Na závěr teoretické části práce jsou zhodnoceny výhody a nevýhody distančních ochran.

Praktická část se zabývá především podrobným postupem měření a nastavováním všech parametrů potřebných k uskutečnění měření na digitální distanční ochraně REL 511 od společnosti ABB. První část praktické části je vlastně takový manuál pro budoucí obsluhu ochrany REL 511. Druhá část je samotné měření vypínací doby impedanční charakteristiky.

První část praktické části nás seznámila s obsluhou digitální distanční ochranou REL 511 a testovacího zařízení OMICRON CMC 256plus. Dále zde byl uveden podrobný postup měření, v kterém se nachází schéma zapojení, napájení ochrany, komunikace testovacího zařízení s ochranou, komunikace ochrany s osobním počítačem, extrakce parametrů ochrany z konfiguračního programu CAP 540, pro konstrukci impedančních charakteristik, nastavení testovacího programu OMICRON Test Universe a postup při rýsování impedanční charakteristiky v modulu „Distance“.

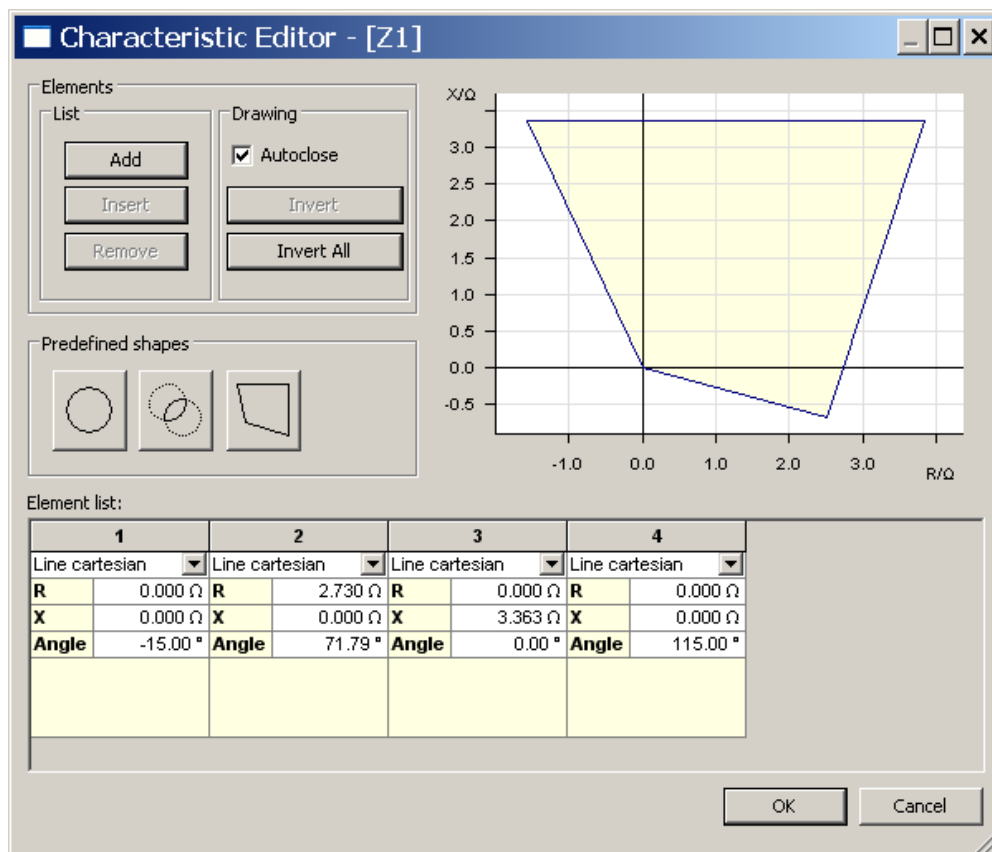
Druhá část už představuje samotné měření vypínací impedanční charakteristiky. Toto měření bylo z důvodu omezené verze programu OMICRON Test Universe uskutečněno v modulu „Distance“ bodovým testem. Body se rozmístili podél přímky vedení, přidávali se do tolerančních hraničních oblastí zón a sledovalo se, v jakém časovém intervalu ochrana tyto poruchy vypne. Podrobné zhodnocení měření se nachází v kapitole 6.2.

Z důvodu technických problémů, kdy se v laboratořích nedařilo ochranu správně nastavit a uvést do provozu, byla ochrana dopravena na Rozvodnu R 400 kV v Otrokovicích, kde se také díky technikům ze společnosti E.ON ČR, s.r.o., ochraně obnovilo vnitřní tovární nastavení vstupních a výstupních svorek, a také z důvodů časové tísně, se ochrana nenakonfigurovala na parametry vlastního fiktivního anebo reálného vedení, což vlastně ani nebylo účelem této práce, ale budoucí obsluha ochrany toto může pojat za své a ochranu zkonfigurovat. V plné verzi programu OMICRON Test Universe je dále možnost proměřit vypínací charakteristiku v modulu „Advance Distance“ například „Search Testem“, kde jsou proměřovány přechody mezi zónami pomocí optimalizovaného algoritmu nebo „Check Testem“, kde jsou zkušební body automaticky umístěny na přímku vedení v tolerančních hranicích zón.

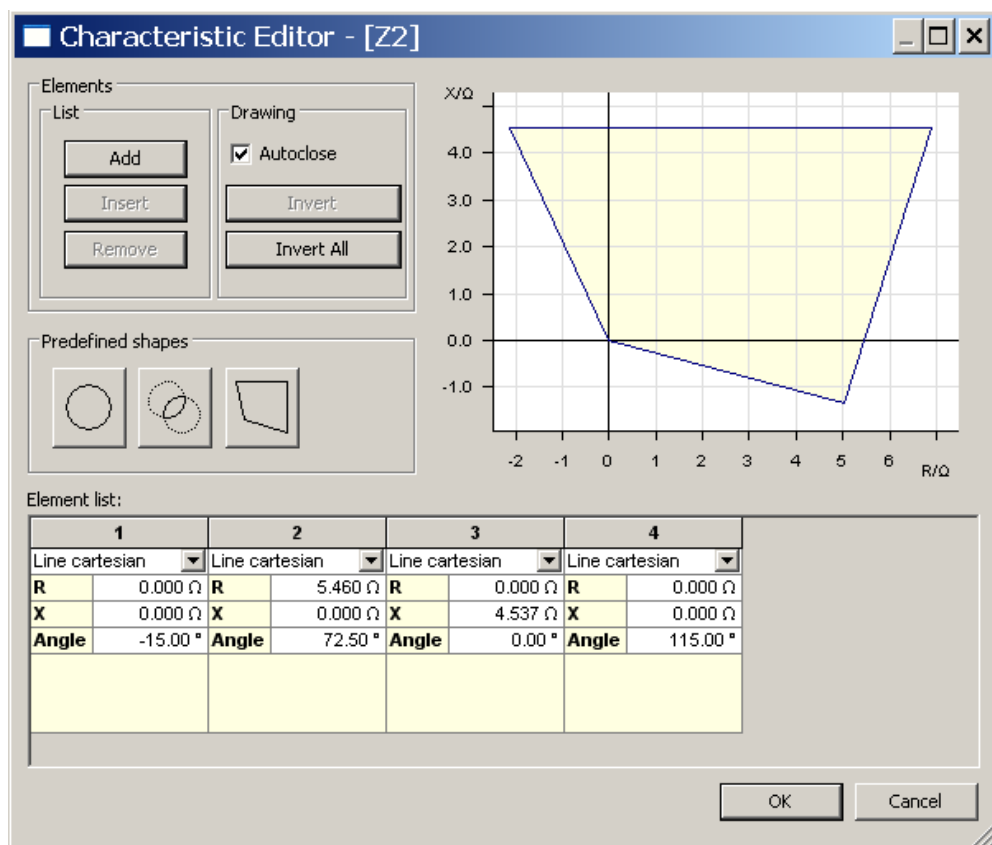
POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DOHNÁLEK, P.: *Provoz a údržba ochran v energetice*. Praha, STNL, 1989, 305 stran.
- [2] DOHNÁLEK, P.: *Ochrany pro průmysl a energetiku*. Praha, STNL, 1991, 305 stran. ISBN 80-03-00630-9
- [3] DOHNÁLEK, P.: *Základy techniky ochran*. Praha, STNL, 1989, 61 stran.
- [4] DOHNÁLEK, P.: *Technika ochran*. Praha, STNL, 1989, 141 stran.
- [5] HALUZÍK, E., WEIDINGER, L., KRÁTKÝ, M.: *Ochrany a jištění energetických zařízení*. FEKT VUT v Brně, 2004, 63 stran.
- [6] JANÍČEK, F., CHLADNÝ, V., BELÁŇ, A., ELESCHOVÁ, Ž.: *Ditálné ochrany v elektrizačnej sústave*. Bratislava, STU, 2004, 360 stran. ISBN 80-227-2135-2
- [7] BERMAN, J.: Distanční ochrany synchronních generátorů: Chránění stroje a jeho okolí. *ENERGETIKA: Přenos a distribuce elektřiny*. 2011, ročník 61, číslo 3, s. 136-144. ISSN 0375-8842.
- [8] ŘEHOŘ, J.: Testování distanční ochrany [online]. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2007, 46 stran, [cit. 2011-11-19]. Dostupný z WWW: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17967>.
- [9] PROCHÁZKA, M.: Distanční ochrana: Principy a použití [online]. FEL ZCU v Plzni, 2004, 22 stran, [cit. 2011-11-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.vyuka.fel.zcu.cz/kee/OZS/Materialy/Distan%E8n%ED.pdf>>.
- [10] *Distanční ochrana vedení REL 511. Uživatelská příručka*. Verze 1.1. ABB Relays AB, prosinec 1994.
- [11] OMICRON CMC 256. *Referenční příručka*. VESD 1002 - verze C256.GE.3. OMICRON electronics GmbH, překlad a grafická úprava, Milan Blokša, září 2007.
- [12] LUTIŠANOVÁ, Alena. Přeložka rozvodny v Doubravě si vyžádá stovky milionů korun. In: [online]. 3. 2. 2009 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.cezdistribuce.cz/cs/informace-o-spolecnosti/tiskove-zpravy/85.html>>.

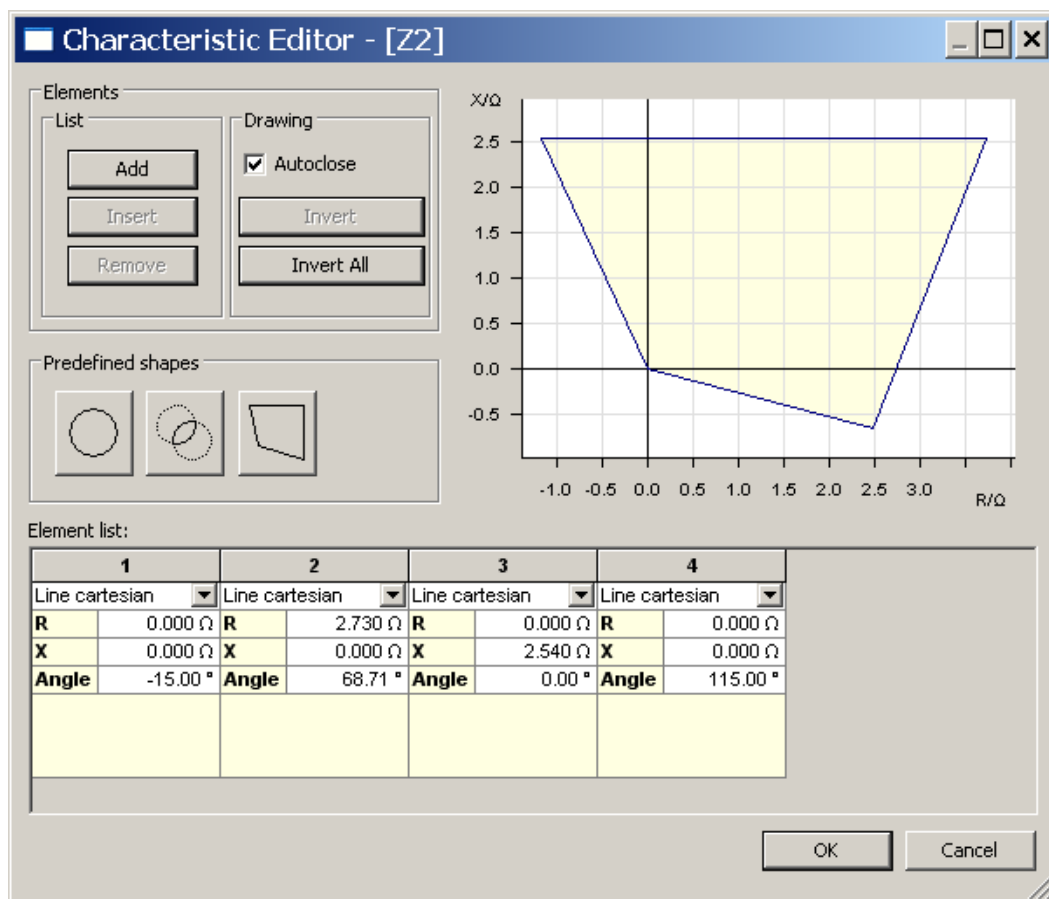
PŘÍLOHA A - KONSTRUKCE ZÓN



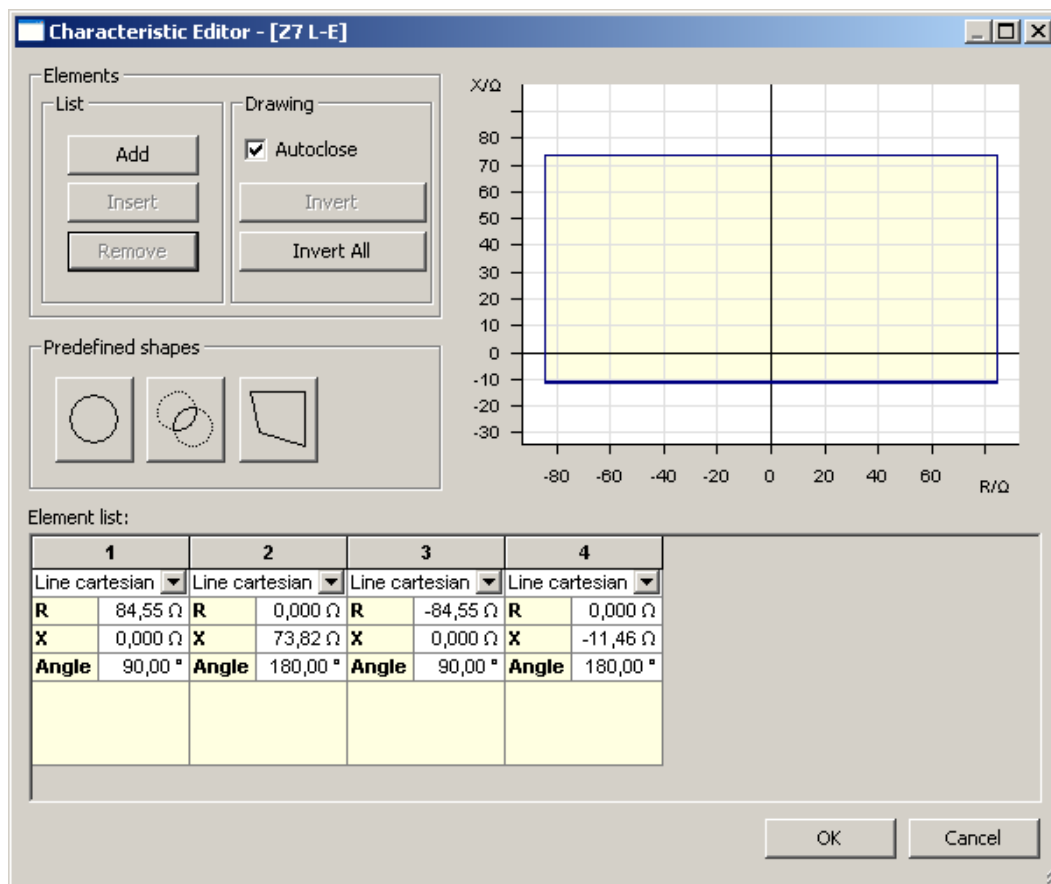
Obr. A-1: Konstrukce zóny 1 pro jednofázové zemní poruchy



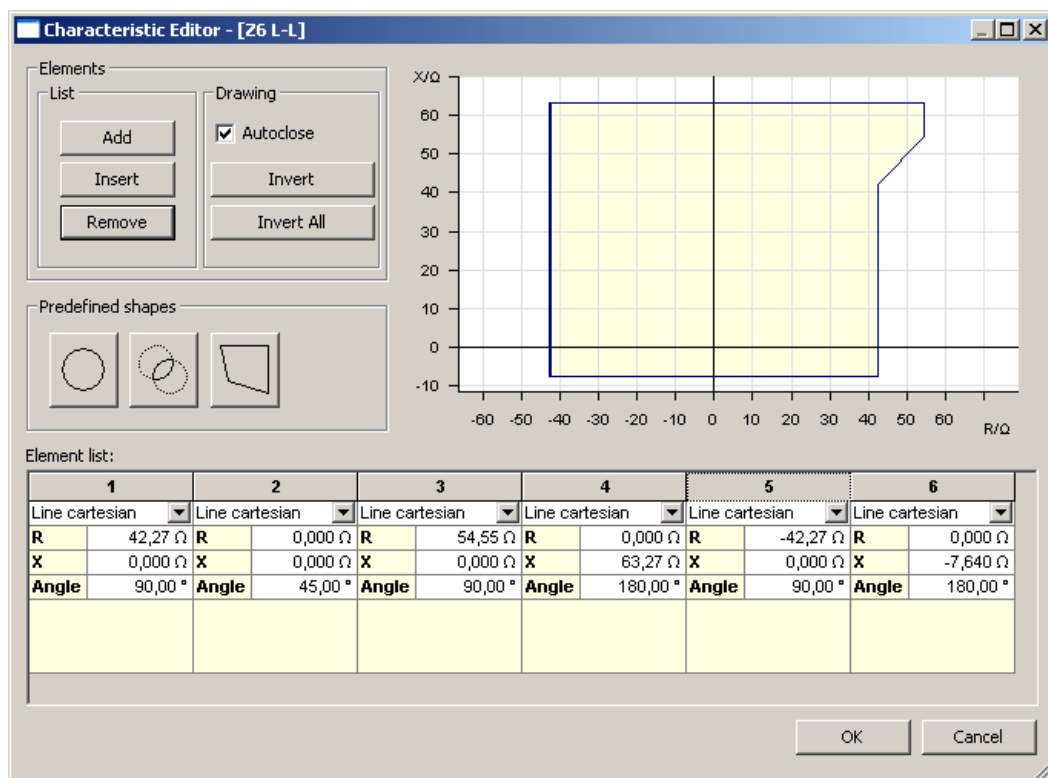
Obr. A-2: Konstrukce zóny 2 pro jednofázové zemní poruchy



Obr. A-3: Konstrukce zóny 2 pro mezifázové poruchy



Obr. A-4: Konstrukce popudové zóny pro jednofázové zemní poruchy



Obr. A-5: Konstrukce popudové zóny pro mezifázové poruchy

PŘÍLOHA B - VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Tab. B-1: Bodový test pro jednofázové zemní poruchy v L2 - N

$ Z $	φ	Jmenovitá doba vypnutí t_n	Skutečná doba vypnutí t_{skut}	Odchylka	Testovací proud	Vyhodnocení měření
3.397 Ω	68.10 °	30.00 ms	53.20 ms	77.33 %	2.000 A	Úspěšné
3.749 Ω	60.00 °	30.00 ms	34.40 ms	14.67 %	2.000 A	Úspěšné
4.000 Ω	35.53 °	30.00 ms	34.40 ms	14.67 %	2.000 A	Úspěšné
3.691 Ω	80.00 °	730.0 ms	731.1 ms	0.1507 %	2.000 A	Úspěšné
4.272 Ω	60.00 °	730.0 ms	740.4 ms	1.425 %	2.000 A	Úspěšné
4.292 Ω	30.00 °	730.0 ms	729.1 ms	-0.1233 %	2.000 A	Úspěšné
4.371 Ω	80.00 °	730.0 ms	730.2 ms	0.0274 %	2.000 A	Úspěšné
4.670 Ω	68.10 °	730.0 ms	729.5 ms	-0.06849 %	2.000 A	Úspěšné
5.032 Ω	60.00 °	730.0 ms	737.2 ms	0.9863 %	2.000 A	Úspěšné
5.022 Ω	72.56 °	1.030 s	1.032 s	0.1748 %	2.000 A	Úspěšné
5.182 Ω	68.10 °	1.030 s	1.028 s	-0.1553 %	2.000 A	Úspěšné
5.458 Ω	60.00 °	1.030 s	1.028 s	-0.2039 %	2.000 A	Úspěšné
5.759 Ω	73.81 °	1.030 s	1.036 s	0.6019 %	2.000 A	Úspěšné
6.000 Ω	68.10 °	1.030 s	1.026 s	-0.3495 %	2.000 A	Úspěšné
6.221 Ω	63.43 °	1.030 s	1.045 s	1.427 %	2.000 A	Úspěšné
6.351 Ω	75.04 °	2.730 s	2.730 s	0.007326 %	2.000 A	Úspěšné
6.576 Ω	68.10 °	2.730 s	2.731 s	0.04762 %	2.000 A	Úspěšné
6.762 Ω	62.54 °	2.730 s	2.730 s	-0.01099 %	2.000 A	Úspěšné
28.50 Ω	63.03 °	2.730 s	2.730 s	-0.003663 %	2.000 A	Úspěšné
28.00 Ω	65.78 °	2.730 s	2.735 s	0.1648 %	2.000 A	Úspěšné
29.12 Ω	66.68 °	6.030 s	6.020 s	-0.1675 %	2.000 A	Úspěšné
29.96 Ω	64.33 °	6.030 s	6.027 s	-0.05804 %	2.000 A	Úspěšné
75.00 Ω	68.10 °	6.030 s	6.040 s	0.1609 %	923.8 mA	Úspěšné
78.78 Ω	64.86 °	6.030 s	6.058 s	0.4627 %	879.5 mA	Úspěšné
82.73 Ω	68.10 °	bez překlopení	bez překlopení		837.5 mA	Úspěšné

Tab. B-2: Bodový test pro jednofázové zemní poruchy v L3 - N

$ Z $	φ	Jmenovitá doba vypnutí t_n	Skutečná doba vypnutí t_{skut}	Odchylka	Testovací proud	Vyhodnocení měření
3.397 Ω	68.10 °	30.00 ms	35.70 ms	19 %	2.000 A	Úspěšné
3.749 Ω	60.00 °	30.00 ms	43.00 ms	43.33 %	2.000 A	Úspěšné
4.000 Ω	35.53 °	30.00 ms	38.40 ms	28 %	2.000 A	Úspěšné
3.691 Ω	80.00 °	730.0 ms	732.0 ms	0.274 %	2.000 A	Úspěšné
4.272 Ω	60.00 °	730.0 ms	726.9 ms	-0.4247 %	2.000 A	Úspěšné
4.292 Ω	30.00 °	730.0 ms	738.8 ms	1.205 %	2.000 A	Úspěšné
4.371 Ω	80.00 °	730.0 ms	731.0 ms	0.137 %	2.000 A	Úspěšné
4.670 Ω	68.10 °	730.0 ms	730.1 ms	0.0137 %	2.000 A	Úspěšné
5.032 Ω	60.00 °	730.0 ms	728.2 ms	-0.2466 %	2.000 A	Úspěšné
5.022 Ω	72.56 °	1.030 s	1.031 s	0.1165 %	2.000 A	Úspěšné
5.182 Ω	68.10 °	1.030 s	1.031 s	0.1359 %	2.000 A	Úspěšné
5.458 Ω	60.00 °	1.030 s	1.029 s	-0.09709 %	2.000 A	Úspěšné
5.759 Ω	73.81 °	1.030 s	1.030 s	0.009709 %	2.000 A	Úspěšné
6.000 Ω	68.10 °	1.030 s	1.032 s	0.233 %	2.000 A	Úspěšné
6.221 Ω	63.43 °	1.030 s	1.054 s	2.301 %	2.000 A	Úspěšné
6.351 Ω	75.04 °	2.730 s	2.732 s	0.08059 %	2.000 A	Úspěšné
6.576 Ω	68.10 °	2.730 s	2.735 s	0.1758 %	2.000 A	Úspěšné
6.762 Ω	62.54 °	2.730 s	2.733 s	0.1245 %	2.000 A	Úspěšné
28.50 Ω	63.03 °	2.730 s	2.741 s	0.3919 %	2.000 A	Úspěšné
28.00 Ω	65.78 °	2.730 s	2.731 s	0.02564 %	2.000 A	Úspěšné
29.12 Ω	66.68 °	6.030 s	6.020 s	-0.1658 %	2.000 A	Úspěšné
29.96 Ω	64.33 °	6.030 s	6.025 s	-0.0796 %	2.000 A	Úspěšné
75.00 Ω	68.10 °	6.030 s	6.042 s	0.2056 %	923.8 mA	Úspěšné
78.78 Ω	64.86 °	6.030 s	6.047 s	0.2886 %	879.5 mA	Úspěšné
82.73 Ω	68.10 °	bez překlopení	bez překlopení		837.5 mA	Úspěšné

Tab. B-3: Bodový test pro mezifázové poruchy v L2 - L3

$ Z $	φ	Jmenovitá doba vypnutí t_n	Skutečná doba vypnutí t_{skut}	Odchylka	Testovací proud	Vyhodnocení měření
1.000 Ω	68.10 °	30.00 ms	40.30 ms	34.33 %	2.000 A	Úspěšné
2.161 Ω	68.10 °	30.00 ms	36.80 ms	22.67 %	2.000 A	Úspěšné
2.502 Ω	54.98 °	30.00 ms	33.50 ms	11.67 %	2.000 A	Úspěšné
2.535 Ω	70.00 °	730.0 ms	726.3 ms	-0.5068 %	2.000 A	Úspěšné
2.667 Ω	64.15 °	730.0 ms	733.1 ms	0.4247 %	2.000 A	Úspěšné
3.000 Ω	55.31 °	730.0 ms	732.9 ms	0.3973 %	2.000 A	Úspěšné
2.850 Ω	68.10 °	1.030 s	1.033 s	0.301 %	2.000 A	Úspěšné
4.707 Ω	31.81 °	1.030 s	1.028 s	-0.165 %	2.000 A	Úspěšné
3.000 Ω	70.00 °	2.730 s	2.729 s	-0.02564 %	2.000 A	Úspěšné
3.218 Ω	63.95 °	2.730 s	2.734 s	0.1392 %	2.000 A	Úspěšné
3.353 Ω	72.65 °	2.730 s	2.732 s	0.07692 %	2.000 A	Úspěšné
34.00 Ω	47.39 °	2.730 s	2.768 s	1.392 %	1.765 A	Úspěšné
35.00 Ω	45.52 °	2.730 s	2.731 s	0.02198 %	1.714 A	Úspěšné
34.41 Ω	48.06 °	6.030 s	2.753 s	-54.34 %	1.743 A	Úspěšné
35.36 Ω	46.38 °	6.030 s	6.022 s	-0.1294 %	1.697 A	Úspěšné
65.99 Ω	68.10 °	6.030 s	6.037 s	0.1095 %	909.3 mA	Úspěšné
71.47 Ω	68.10 °	bez překlopení	bez překlopení		839.5 mA	Úspěšné

Tab. B-4: Bodový test pro mezifázové poruchy v L3 - L1

$ Z $	φ	Jmenovitá doba vypnutí t_n	Skutečná doba vypnutí t_{skut}	Odchylka	Testovací proud	Vyhodnocení měření
1.000 Ω	68.10 °	30.00 ms	36.10 ms	20.33 %	2.000 A	Úspěšné
2.161 Ω	68.10 °	30.00 ms	44.60 ms	48.67 %	2.000 A	Úspěšné
2.502 Ω	54.98 °	30.00 ms	30.10 ms	0.3333 %	2.000 A	Úspěšné
2.535 Ω	70.00 °	730.0 ms	739.8 ms	1.342 %	2.000 A	Úspěšné
2.667 Ω	64.15 °	730.0 ms	749.4 ms	2.658 %	2.000 A	Úspěšné
3.000 Ω	55.31 °	730.0 ms	736.6 ms	0.9041 %	2.000 A	Úspěšné
2.850 Ω	68.10 °	1.030 s	1.051 s	2.029 %	2.000 A	Úspěšné
4.707 Ω	31.81 °	1.030 s	1.030 s	0.009709 %	2.000 A	Úspěšné
3.000 Ω	70.00 °	2.730 s	2.731 s	0.02564 %	2.000 A	Úspěšné
3.218 Ω	63.95 °	2.730 s	2.730 s	-0.01465 %	2.000 A	Úspěšné
3.353 Ω	72.65 °	2.730 s	2.731 s	0.03297 %	2.000 A	Úspěšné
34.00 Ω	47.39 °	2.730 s	2.731 s	0.02198 %	1.765 A	Úspěšné
35.00 Ω	45.52 °	2.730 s	2.740 s	0.348 %	1.714 A	Úspěšné
34.41 Ω	48.06 °	6.030 s	2.736 s	-54.62 %	1.743 A	Úspěšné
35.36 Ω	46.38 °	6.030 s	2.732 s	-54.7 %	1.697 A	Úspěšné
65.99 Ω	68.10 °	6.030 s	6.038 s	0.1294 %	909.3 mA	Úspěšné
71.47 Ω	68.10 °	bez překlopení	bez překlopení		839.5 mA	Úspěšné

Tab. B-5: Bodový test pro mezifázové poruchy v L1 - L2 - L3

$ Z $	φ	Jmenovitá doba vypnutí t_n	Skutečná doba vypnutí t_{skut}	Odchylka	Testovací proud	Vyhodnocení měření
1.000 Ω	68.10 °	30.00 ms	36.90 ms	23 %	2.000 A	Úspěšné
2.161 Ω	68.10 °	30.00 ms	39.80 ms	32.67 %	2.000 A	Úspěšné
2.502 Ω	54.98 °	30.00 ms	38.70 ms	29 %	2.000 A	Úspěšné
2.535 Ω	70.00 °	730.0 ms	728.1 ms	-0.2603 %	2.000 A	Úspěšné
2.667 Ω	64.15 °	730.0 ms	746.2 ms	2.219 %	2.000 A	Úspěšné
3.000 Ω	55.31 °	730.0 ms	730.3 ms	0.0411 %	2.000 A	Úspěšné
2.850 Ω	68.10 °	1.030 s	1.075 s	4.33 %	2.000 A	Úspěšné
4.707 Ω	31.81 °	1.030 s	1.029 s	-0.1068 %	2.000 A	Úspěšné
3.000 Ω	70.00 °	2.730 s	2.731 s	0.04762 %	2.000 A	Úspěšné
3.218 Ω	63.95 °	2.730 s	2.733 s	0.1026 %	2.000 A	Úspěšné
3.353 Ω	72.65 °	2.730 s	2.732 s	0.09158 %	2.000 A	Úspěšné
34.00 Ω	47.39 °	2.730 s	2.728 s	-0.05495 %	2.000 A	Úspěšné
35.00 Ω	45.52 °	2.730 s	2.735 s	0.1832 %	1.980 A	Úspěšné
34.41 Ω	48.06 °	6.030 s	2.784 s	-53.83 %	2.000 A	Úspěšné
35.36 Ω	46.38 °	6.030 s	2.734 s	-54.66 %	1.959 A	Úspěšné
65.99 Ω	68.10 °	6.030 s	6.036 s	0.1028 %	1.050 A	Úspěšné
71.47 Ω	68.10 °	bez překlopení	bez překlopení		969.4 mA	Úspěšné