

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Distanční ochrany REF630 pro drážní aplikace**

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan BENEDIKT**  
Osobní číslo: **E17N0072P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektroenergetika**  
Název tématu: **Distanční ochrany REF630 pro drážní aplikace**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

**Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :**

Cílem práce je vytvoření příručky popisující specifické aspekty distanční ochrany REF630 pro jednofázové drážní aplikace. Tato příručka by měla být nápomocná projektantům, výpočtářům nastavení a také koncovému uživateli.

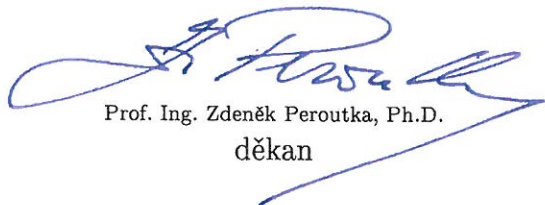
1. Nakreslete typové schéma zapojení ochrany.
2. Popište princip měření distanční ochrany a aplikujte jej na drážní použití.
3. Vytvořte typové nastavení ochrany a vzor nastavovacího dopisu.
4. Proveďte vyměření vypínacích charakteristik.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


**1. Manuál distanční ochrany REF630**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jana Jiříčková, Ph.D.  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 5. října 2018  
Termín odevzdání diplomové práce: 30. května 2019

  
Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

**Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce je zaměřená na vytvoření příručky, která popisuje specifické aspekty distanční ochrany REF630 pro jednofázové drážní aplikace. Popisuje základy chránění elektroenergetických systémů, distanční ochrany a jejich specifika se zaměřením na digitální ochrany od firmy ABB, popis zařízení a programů nezbytných pro nastavení a vyzkoušení funkčnosti distanční ochrany, typové schéma zapojení ochrany, aplikaci distanční ochrany na drážní použití, výpočet nastavení a vyměření vypínacích charakteristik. Dále práce obsahuje nastavovací dopis distanční ochrany pro drážní aplikace.

**Klíčová slova**

Distanční ochrana, REF630, jednofázové drážní aplikace, nastavovací dopis, OMICRON CMC 353, PCM600.

**Abstract**

This paper deals with the project of Distance protection REF630 for railway applications, the aim is to create a manual for single-phase railway applications. At first, it describes of protection of power systems, distance protection and their specifics with focus on IED from ABB, description of devices and software which are necessary for setting and testing of distance protection, scheme of connection protection, application of distance protection to railway applications, calculation of setting and measuring of tripping characteristic. Furthermore, the paper contains a parameter setting calculation of distance protection for railway applications.

**Key words**

Distance protection, REF630, single-phase railway applications, parameter setting, OMICRON CMC 353, PCM600.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 29.5.2019

Jan Benedikt

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce paní Ing. Janě Jiříčkové, PhD. a také panu Ing. Martinovi Procházkovi, PhD. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat Janu Benediktovi za objektivní připomínky a poskytnutí odborných rad při tvorbě této práce.

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>12</b>
<b>1 ÚVOD DO CHRÁNĚNÍ</b> .....	<b>13</b>
1.1 Poruchové stavy v elektrizační soustavě .....	14
1.2 Teorie ochran .....	16
1.3 Teorie chránění .....	19
1.4 Nastavení ochran.....	20
<b>2 DISTANČNÍ OCHRANY</b> .....	<b>21</b>
2.1 Charakteristika distanční ochrany .....	23
2.1.1 Charakteristiky analogových ochran.....	26
2.1.2 Charakteristiky digitálních ochran.....	26
2.2 Nastavení distančních ochran.....	28
2.2.1 Popudový člen .....	28
2.2.2 Určení směru .....	28
2.2.3 Stupně ochrany.....	29
2.2.4 Nastavení paralelních vedení .....	29
2.2.5 Efekt bočního napájení .....	31
2.2.6 Odstupňování.....	31
2.3 Vazby distančních ochran .....	33
2.3.1 Strhávání.....	34
2.3.2 Systém uvolňování .....	34
2.3.3 Systém blokování .....	34
2.4 Automatika opětného zapínání.....	34
2.5 Ochrana ABB REF630.....	36
<b>3 ŽELEZNIČNÍ NAPÁJECÍ SOUSTAVA</b> .....	<b>41</b>
3.1 Historický vývoj železniční napájecí soustavy.....	41
3.2 Jednofázový trakční napájecí systém průmyslového kmitočtu .....	43
<b>4 NASTAVENÍ A MĚŘENÍ DISTANČNÍ OCHRANY PRO DRÁŽNÍ APLIKACE</b> .....	<b>46</b>
4.1 Výpočet nastavení .....	46



---

4.1.1	<i>Výpočet poruchové impedance při mezifázovém zapojení distanční ochrany pro drážní aplikace</i>	48
4.1.2	<i>Výpočet poruchové impedance při zemním zapojení distanční ochrany pro drážní aplikace</i>	49
4.2	Nastavení ochrany za pomoci programu PCM600.....	50
4.2.1	<i>Application Configuration</i> .....	51
4.2.2	<i>Parameter Settings</i> .....	57
4.3	Testovací zařízení OMICRON CMC 353 .....	60
4.3.1	<i>Modul QuickCMC</i> .....	61
4.3.2	<i>Modul Distance</i> .....	61
4.3.3	<i>Testovací zapojení</i> .....	66
4.4	Vyměření vypínacích charakteristik.....	67
<b>ZÁVĚR</b> .....		<b>70</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....		<b>72</b>
<b>PŘÍLOHA A</b>	<b>NASTAVOVACÍ DOPIS PRO MEZIFÁZOVÉ ZAPOJENÍ</b> .....	<b>73</b>
<b>PŘÍLOHA B</b>	<b>KONFIGURACE OCHRANY PRO ÚČEL DIPLOMOVÉ PRÁCE</b> .....	<b>80</b>
<b>PŘÍLOHA C</b>	<b>PŘEHLEDOVÉ SCHÉMA TNS STRAKONICE</b> .....	<b>85</b>

## Úvod

Tématem diplomové práce je vytvoření příručky pro specifické aspekty distanční ochrany REF630 pro jednofázové drážní aplikace. Práce byla vytvořena ve spolupráci s firmou ABB.

Hlavní náplní této práce je seznámení čtenáře s problematikou nastavení distanční ochrany REF630 pro drážní aplikace. Tato práce je nápomocná projektantům, výpočtářům nastavení a také koncovému uživateli.

Z hlediska členění je práce strukturována do čtyř kapitol. První kapitola této práce je zaměřena na všeobecnou problematiku chránění energetických systémů. V druhé kapitole této práce bude čtenář seznámen s distančními ochranami, jejich charakteristikami, nastavením a vazbami na další distanční ochrany. Ve třetí kapitole je popsán vývoj napěťových hladin v železniční napájecí soustavě a její současný stav.

Čtvrtá kapitola se zabývá praktickou částí práce. Zde je popsán výpočet poruchové impedanční smyčky pro trakční vedení, je počítáno s impedanční smyčkou fáze - fáze a fáze - zem. Vysvětleno nastavení ochrany REF630 za pomoci programu PCM 600 od firmy ABB, se zaměřením na prostředí nástrojů Application Configuration, Parameter Setting a na funkční blok distanční ochrany DSTPDIS. Dále je popsáno testovací zařízení CMC 353 od firmy OMICRON a program TestUniverse dodávaný s tímto zařízením, kdy je pozornost věnována modulu QuickCMC, který slouží pro ovládání proudových a napěťových výstupů a modulu Distance, který slouží pro pokročilé testování chování distančních ochran. Poslední podkapitola této práce se zabývá vyměřením vypínacích charakteristik, kde je testováno zda distanční ochrana dává povel k vypnutí korektně a v předpokládaný čas.

## Seznam obrázků

OBR. 1 NÁZORNÉ ZAPOJENÍ OCHRANY. PŘEVZATO Z [6].	13
OBR. 2 ZJEDNODUŠENÝ BLOKOVÝ DIAGRAM DIGITÁLNÍ OCHRANY. PŘEVZATO Z [8].	16
OBR. 3 CHARAKTERISTIKY ČASOVĚ ZÁVISLÝCH OCHRAN. PŘEVZATO Z [6].	19
OBR. 4 PRINCIP DISTANČNÍ OCHRANY A MĚŘENÍ ZKRATOVÉ IMPEDANCE. PŘEVZATO Z [8].	21
OBR. 5 PRINCIP DISTANČNÍ OCHRANY A ODSUPŇOVÁNÍ VZDÁLENOSTI. PŘEVZATO Z [8].	22
OBR. 6 POSUVNÝ ZKRAT NA VEDENÍ V IMPEDANČNÍ ROVINĚ.	24
OBR. 7 CHARAKTERISTIKA DISTANČNÍ OCHRANY. PŘEVZATO Z [8].	25
OBR. 8 VYSUNUTÁ KRUHOVÁ CHARAKTERISTIKA „OFFSET-MHO“.	26
OBR. 9 CHARAKTERISTIKA DIGITÁLNÍ DISTANČNÍ OCHRANY.	27
OBR. 10 NASTAVENÍ PARALELNÍHO VEDENÍ. PŘEVZATO Z [5].	30
OBR. 11 VLIV BOČNÍHO NAPÁJENÍ NA MĚŘENÍ DISTANČNÍ OCHRANY. PŘEVZATO Z [5].	31
OBR.12 PRODLOUŽENÍ DOBY ZAPŮSOBENÍ OCHRANY V ZÁVISLOSTI NA VZDÁLENOSTI PORUCHY. PŘEVZATO Z [8].	32
OBR. 13 ODSUPŇOVÁNÍ OCHRANY PŘI NAPÁJENÍ PŘÍPOJNICE ZE DVOU KONCŮ.	33
OBR. 14 OCHRANA ABB REF630. PŘEVZATO Z [4].	39
OBR. 15 SVORKOVNICOVÝ VÝKRES OCHRANY REF630. PŘEVZATO Z [4].	40
OBR. 16 PŘEHLED POUŽÍVANÝCH TRAKČNÍCH SOUSTAV V EVROPĚ. PŘEVZATO Z [9].	43
OBR. 17 ZAPOJENÍ FILTRAČNÍ KOMPENZAČNÍ STANICE.	44
OBR. 18 NAPÁJENÍ A PROVOZ TRAKČNÍ SÍTĚ V NAPÁJECÍ STANICI BŘECLAV.	45
OBR. 19 TYPOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ OCHRANY PRO MEZIFÁZOVÉ PORUCHY.	47
OBR. 20 TYPOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ OCHRANY PRO ZEMNÍ PORUCHY.	48
OBR. 21 VÝCHOZÍ MEZIFÁZOVÉ ZAPOJENÍ PRO VÝPOČET NASTAVENÍ.	48
OBR. 22 VÝCHOZÍ MEZIFÁZOVÉ ZAPOJENÍ PRO VÝPOČET NASTAVENÍ.	49
OBR. 23 FUNKČNÍ BLOK SMAI_20. PŘEVZATO Z [3].	52
OBR. 24 FUNKČNÍ BLOK FXDSIGN. PŘEVZATO Z [3].	52

---

OBR. 25 FUNKČNÍ BLOK OR. PŘEVZATO Z [3]. .....	53
OBR. 26 FUNKČNÍ BLOK SCEFRFLO. PŘEVZATO Z [3]. .....	53
OBR. 27 FUNKČNÍ BLOK MVGGIO. PŘEVZATO Z [3]. .....	53
OBR. 28 FUNKČNÍ BLOK B1RBDR. PŘEVZATO Z [3]. .....	54
OBR. 29 FUNKČNÍ BLOK A1RADR. PŘEVZATO Z [3]. .....	54
OBR. 30 IMPEDANCE SMYČKY PRO MEZIFÁZOVÉ ZAPOJENÍ OCHRANY. ....	55
OBR. 31 FUNKČNÍ BLOK DSTPDIS. PŘEVZATO Z [3]. .....	56
OBR. 32 MOŽNÉ KOMBINACE IMPEDANČNÍCH ZÓN. PŘEVZATO Z [3]. .....	57
OBR. 33 IMPEDANČNÍ CHARAKTERISTIKA, KTERÁ VYCHÁZÍ Z NASTAVENÍ V PROGRAMU PCM600. ....	59
OBR. 34 TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ OMICRON CMC 353. PŘEVZATO Z [12]. .....	60
OBR. 35 MODUL QUICKCMC, NASTAVENY HODNOTY PRO PORUCHU NA 40. KM. ....	61
OBR. 36 UKÁZKA NASTAVENÍ IMPEDANČNÍ CHARAKTERISTIKY V MODULU ADVANCED DISTANCE .....	62
OBR. 37 NASTAVENÍ JEDNOTLIVÝCH ZÓN PRO TESTOVÁNÍ V MODULU ADVANCED DISTANCE. .....	63
OBR. 38 TESTOVÁNÍ NASTAVENÍ OCHRANY ZA POMOCI NÁSTROJE SHOT TEST.....	64
OBR. 39 TESTOVÁNÍ NASTAVENÍ OCHRANY ZA POMOCI NÁSTROJE CHECK 1TEST. ....	64
OBR. 40 TESTOVÁNÍ NASTAVENÍ OCHRANY ZA POMOCI NÁSTROJE SEARCH TEST S PŘIBLÍŽENÍM NA JEDEN TESTOVANÝ ÚSEK.....	65
OBR. 41 SCHÉMA ZAPOJENÍ OCHRANY REF 630 A OMICRONU CMC 353 PRO TESTOVÁNÍ MEZIFÁZOVÉHO ZAPOJENÍ. ....	66
OBR. 42 SCHÉMA ZAPOJENÍ OCHRANY REF 630 A OMICRONU CMC 353 PRO TESTOVÁNÍ ZEMNÍHO ZAPOJENÍ. ....	66
OBR. 43 TESTOVÁNÍ NASTAVENÍ OCHRANY NA PORUCHU NA 20. KM VEDENÍ. ....	67
OBR. 44 TESTOVÁNÍ NASTAVENÍ OCHRANY NA PORUCHU NA 40. KM VEDENÍ. ....	68
OBR. 45 TESTOVÁNÍ OCHRANY PŘI MINIMÁLNÍ PROVOZNÍ IMPEDANCI .....	69

## Seznam symbolů a zkratk

CD	Compact Disc. Kompaktní disk.	
IED	Intelligent Electronic Device. Inteligentní elektronické zařízení.	
PTP	Přístrojový transformátor proudu.	
PTN	Přístrojový transformátor napětí.	
BI	Binary Input. Binární vstup.	
BO	Binary Output. Binární výstup.	
LED	Light-Emitting Diode. Elektroluminiscenční dioda.	
zvn	zvlášť vysoké napětí	
vvv	velmi vysoké napětí	
vn	vysoké napětí	
$U$	Napětí.	[V]
$I$	Proud.	[A]
$R$	Elektrický odpor.	[ $\Omega$ ]
$X$	Reaktance	[ $\Omega$ ]
$Z$	Impedance.	[ $\Omega$ ]
$t$	Čas.	[s]
$l$	Délka.	[m]



Tabulka 1 Porovnání značení ochran dle norem IEC 61850, IEC 60617 a standardu IEEE C37.2.

Popis	IEC 61850	IEC 60617	ANSI / IEEE C37.2
Tří fázová nesměrová nadproudová ochrana	PHLPTOC	3I>	51P-1
Tří fázová nesměrová zkratová ochrana	PHHPTOC	3I>>	51P-2
Distanční ochrana	DSTPDIS	Z<	21, 21P, 21N
Tří fázová podpěťová ochrana	PHPTUV	3U<	27
Tří fázová přepěťová ochrana	PHPTOV	3U>	59

## 1.1 Poruchové stavy v elektrizační soustavě

V elektrizační soustavě se můžeme setkat s několika typy poruch. Tyto poruchy ohrožují bezpečnost provozu elektrizační soustavy. Pro pochopení, před čím chráníme elektrizační soustavu, je nutno tyto poruchy popsat:

- Zkrat – při vzájemném spojení dvou nebo tří fází v případě sítě s přímo uzemněným uzlem, nebo při spojení jedné fáze se zemí v případě sítě uzemněné pomocí rezistoru. Je nejrozšířenější poruchou v elektrizační soustavě a vznikají při něm přechodné jevy. Hlavními příčinami vzniku zkratu jsou:
  - poruchy izolace způsobené např. přepětím nebo únavou izolace,
  - mechanickým poškozením,
  - klimatickým vlivem (vítr, bouře),
  - špatná manipulace obsluhy.

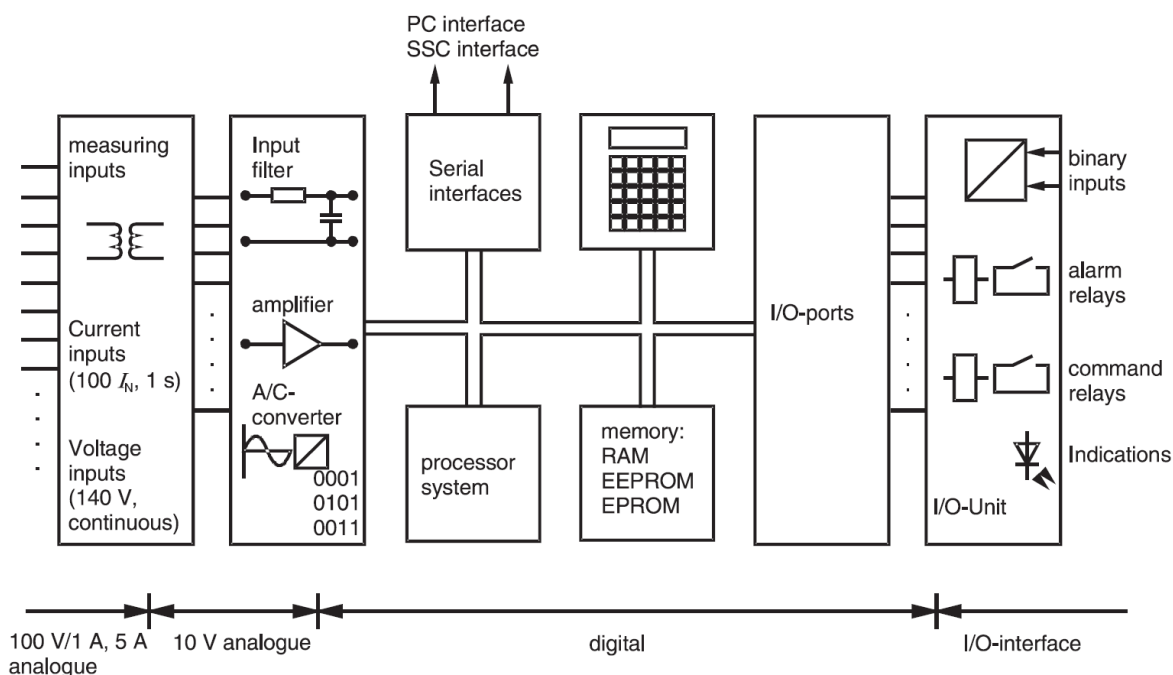
Hlavní následek je zvětšování proudu (tzv. zkratový proud) a snížení napětí v místech blízko zkratu. Zvýšené silové i tepelné namáhání vedení, spotřebičů i ostatních rozvodných zařízení. Problémy s vypínáním zkratového proudu (elektrický oblouk). V neposlední řadě také rušení sdělovacích vedení (indukovaná napětí). Zkraty také dělíme na symetrické a nesymetrické.

- Zemní spojení – jedná se o vodivé spojení jedné fáze a země v síti s izolovaným uzlem nebo v síti s nepřímo uzemněným uzlem, uzemněn přes zhášecí tlumivku. Místem spojení vodiče se zemí teče proud převážně kapacitního charakteru, tento proud je dán kapacitami zdravých fází a činným odporem obvodu. Příčiny vzniku zemního spojení jsou stejné jako u zkratů. Aby bylo možné udržet provoz sítě i při zemním spojení, provádí se kompenzace zemních proudů, například pomocí plynule laditelné zhášecí tlumivky (Petersenova cívka).
- Přepětí – můžeme rozdělit na:
  - Atmosférické přepětí – vzniklé úderem blesku do vedení nebo do nekrytých částí elektrických zařízení. Může vzniknout také indukci při úderu blesku v blízkosti vedení.
  - Provozní přepětí – je způsobené přechodnými jevy při spínání v obvodech s velkou indukčností nebo kapacitami při odepínání zkratů nebo při přerušovaném zemním spojení. Opakem přepětí je podpětí, které může být způsobeno nedostatečnou kompenzací, přetížením nebo poruchou regulace napětí.
- Změna kmitočtu – můžeme rozdělit na zvýšení a snížení kmitočtu:
  - Zvýšení kmitočtu – většinou je způsobeno poruchou regulace výkonu.
  - Snížení kmitočtu – k němu dochází přetížením zdrojů v síti.
- Přetížení – zatěžování vodičů a elektrických zařízení proudem vyšším, než je dovolené zatížení zařízení. Krátkodobé přetížení nemusí být nebezpečné.
- Nesouměrné zatížení – stav, při kterém jsou jednotlivé fáze motoru zatěžovány různým proudem. V důsledku toho vzniká zpětná složka proudu  $i_2$ , která vytváří magnetické pole, jenž se otáčí dvojnásobnou úhlovou rychlostí rotoru (v opačném smyslu). V rotoru se poté indukují vířivé proudy, jejichž průchodem se může rotor nebezpečně zahřívat. [1], [6], [7]



## 1.2 Teorie ochran

Ochrany můžeme dělit dle typu chráněného objektu (generátor, transformátor, vedení atd.), dle druhu poruchy (zkratová, přepětová, podfrekvenční atd.), dle doby působení (více na Obr. 3), dle funkčního principu (proudová, napětová, distanční atd.), dle funkce (základní a záložní ochrana) a dle připojení k chráněnému objektu (primární, připojena bez přístrojových transformátorů a sekundární, připojena skrze přístrojové transformátory). Moderní ochrany jsou plně digitální, což znamená, že měřené veličiny (proudy a napětí) jsou převedeny z analogových do digitálních hodnot.



Obr. 2 Zjednodušený blokový diagram digitální ochrany. Převzato z [8]

Na ochrany jsou také kladeny určité požadavky:

- **Selektivita** – schopnost ochrany vypnout jen úsek kde vznikla porucha.
- **Spolehlivost** – pravděpodobnost, že ochrana vykoná požadovanou funkci za daných podmínek a v daném časovém intervalu.
- **Rychlost** – snižuje riziko poškození úseku vlivem tepelných účinků zkratových proudů, důležité zvláště při zkratech.
- **Citlivost** – velikost měřené veličiny na kterou je ochrana nařízena a podle které vyhodnocuje, zda se jedná o poruchu.
- **Bezpečnost** – ochrana nepůsobí nadbytečně na poruchové stavy.

Ochrana se většinou skládá z několika členů:

- Vstupní člen – má na starost převod signálu na úroveň a tvar se kterým ochrana může dále pracovat. Jmenovité vstupní hodnoty ochrany jsou 100 V a 5 A, 1 A, 0,2 A nebo 150 mV pro senzory. Tyto veličiny jsou přivedeny na vstup ochrany z přístrojových transformátorů nebo jiných měřicích senzorů. V digitálních ochranách jsou vstupní členy tvořeny za pomoci A/D převodníků.
- Popudový člen – byl přítomen v elektromechanických ochranách, dnes již vše zastává jeden algoritmus. Popudový člen při vzniku poruchy dává signál měřicímu členu a logice ochrany. Zda ochrana zapůsobí či nikoliv rozhodne až její logika a měřicí člen, popud tedy pouze zajistí start těchto obvodů. Obdobná konstrukce jako měřicí člen, jen větší citlivost.
- Měřicí člen – rozhoduje o poruše v objektu. Vymezuje prostor působení ochrany. Rozlišujeme šest typů měřicích členů:
  - Amplitudový člen – zjišťuje velikost proudu nebo napětí. Dle měřené veličiny ho dále dělíme na čtyři typy:

I. Střídavý amplitudový člen na střední hodnotu

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt \quad (1.1)$$

Kde:

- K – nastavitelná citlivost měřicího členu,
- T – doba periody měřené veličiny  $x(t)$ ,
- $x(t)$  – měřená veličina (proud nebo napětí).

II. Střídavý amplitudový člen na efektivní hodnotu

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (1.2)$$

III. Stejnoseměrný amplitudový měřicí člen

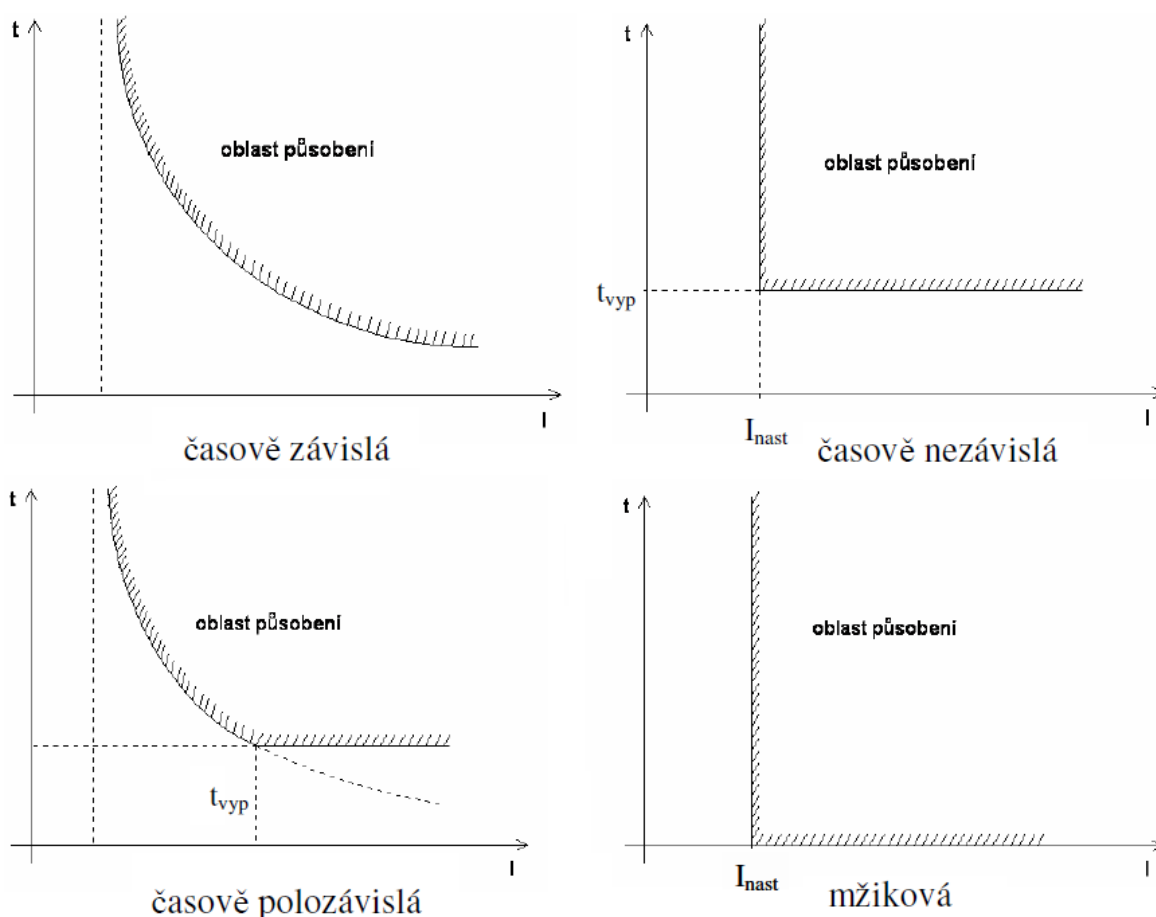
$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (1.3)$$

## IV. Amplitudový měřicí člen na maximální hodnotu

$$K = \max[x(t)] \quad (1.4)$$

- Závislý měřicí člen – v závislosti na době trvání poruchy zjišťuje velikost proudu nebo napětí.
  - Rozdílový měřicí člen – porovnává amplitudu dvou vstupních veličin.
  - Amplitudový komparátor – typ rozdílového měřicího členu s velkou citlivostí.
  - Součinnový měřicí člen – používá se ve wattových a jalových ochranách.
  - Fázový komparátor – stejný jako součinnový měřicí člen ale s velkou citlivostí.
- Logika – jejím úkolem je zpracovat signál z popudu a určit funkci měřicího členu. Vstupy i výstupy logiky jsou booleovské (log. 0 a log. 1). Poté na základě signálu od měřicího členu dává pokyn koncovému členu. Soustavu logiky lze sestavit ze tří logických funkcí AND, OR a NOT (součin, součet a negace). Logika se skládá z: klasického pomocného relé, jazýčkové relé, diod, tranzistorů, integrovaných obvodů nebo softwaru číslicového procesoru.
  - Koncový člen – zpracovává signál logiky tak, aby byl schopen vypnout vypínač a současně aby informoval obsluhu (signál musí mít dostatečnou úroveň a být odolný proti rušení). Nejčastěji je tvořen pomocnými relé s výkonovými kontakty.
  - Časový člen – určuje prodloužení doby působení ochrany. Je ovládán signálem z logiky ochrany. Má několik důvodů k použití:
    - Zajištění selektivity.
    - Pro využití možné akumulace energie v objektu.
    - Pro vyloučení chybného zapůsobení ochrany, jenž je způsobeno poruchou přechodného charakteru.
  - Napájecí člen – slouží pro napájení ochran, jenž může být zajištěno více způsoby:
    - Přímé napájení ze staniční baterie (nejčastěji využívaný způsob).

- Ochrana bez napájení (nepotřebuje pomocné napětí, využívá energii dodanou přístrojovými transformátory). [1], [6], [8]



Obr. 3 Charakteristiky časově závislých ochran. Převzato z [6].

### 1.3 Teorie chránění

Hlavním úkolem chránění elektrických zařízení je předejít poškození zařízení vlivem oteplení. Oteplení můžeme specifikovat do dvou skupin. Oteplení, kvůli kterému dochází k předčasnému stárnutí izolace a na oteplení, při němž dojde k trvalému poškození izolace s následnou destrukcí zařízení. První případ se vyskytuje při nadměrném zatěžování zařízení a druhý při elektrických zkratech na zařízení. Každé silnoproudé elektrické zařízení má svoji tepelnou konstantu, na elektrické zařízení nepůsobí jen elektrický proud ale také okolí. Vliv okolí je velmi významný a to proto, že zařízení může ochlazovat nebo naopak oteplovat. Stejně se můžeme koukat na vliv elektrického zařízení na okolí, a to z pohledu, jak svým působením negativně ovlivňuje okolí (iniciace výbuchu, požár, oteplování atd.). Proto bychom měli mít vždy potřebné informace nejen o zařízení, ale také o prostředí, v němž se

vyskytuje a na nějž má vliv. Pokud nemáme dostatečné či zavádějící informace, tak bychom měli postupovat obezřetně.

K výpočtu chránění je zapotřebí také informace o způsobu provozování zařízení. Jinak budeme vnímat zařízení které provozujeme trvale, jinak zařízení, které slouží jako rezerva a jeho provoz je párkrát za rok či pokud je to zařízení pouze dočasné. V každém odvětví průmyslu a energetiky jsou odlišné priority a jiné zvyklosti při chránění. Každý problém má vícero správných řešení a záleží jen na úhlu pohledu, jaké řešení bude určeno jako nejvýhodnější. Neméně důležitý je také stav zařízení, zda je zařízení nové či staré několik desítek let a zažilo přetěžování (špatný stav izolace) průchozí zkratky atd. Při přepočítávání ochran na starém zařízení je též dobré se pozastavit a zjistit původní nastavení, které nám může ukázat atypické nastavení ochrany. Poté je na místě otázka, zda to byl záměr či nikoliv. Také by nás mělo zajímat nastavení „podřízených rozvodů“. [1]

## 1.4 Nastavení ochran

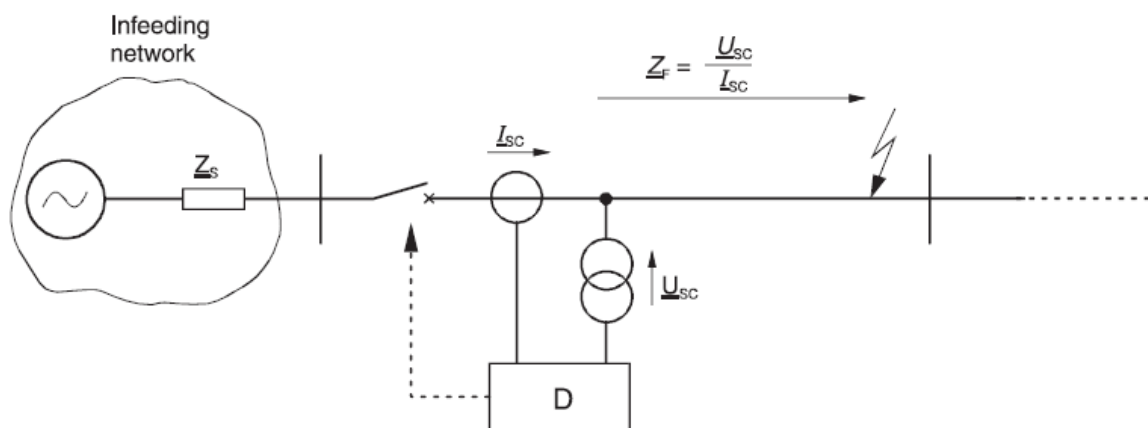
Ochrany slouží k co nejvyššímu zvýšení spolehlivosti elektrizační sítě, proto je kladen velký důraz na jejich správné a spolehlivé nastavení. Pokud by ochrany nebyly správně nastaveny hrozí výpadky dodávky elektrické energie nebo přetěžování některých prvků z důvodu nezapůsobení ochrany. Pokud se změní parametry sítě je zapotřebí tomu přizpůsobit nastavení ochrany, to znamená že změny ve výpočtu nastavení se provádí, když se síť nebo stanice rekonstruuje, mění se konfigurace sítě nebo se objeví pochybnosti a správnosti nastavení ochrany.

Moderní digitální ochrany umožňují dynamické přizpůsobování nastavených hodnot stavu sítě a zatížení. V praxi se při nastavování ochrany musí volit kompromis mezi citlivostí na poruchy, rychlostí a selektivitou. Nastavení digitální ochrany se stává z několika kroků:

- Výběr a aktivování potřebných funkcí ochrany.
- Výběr a aktivování potřebných pomocných funkcí ochrany.
- Konfigurace ovládacích kontaktů a sběrnic (např. sériové sběrnice RS432).
- Přizpůsobení ochrany síti a měničům.
- Nastavení vypínacích charakteristik. [1], [5], [8]

## 2 Distanční ochrany

Distanční ochrany se využívají zejména pro chránění vedení zvn a vvn, ve výjimečných případech i pro napěťové hladiny vn. Distanční ochrany jsou pro tato vedení oblíbená zejména díky možnosti selektivního nastavení těchto ochran s využíváním funkce vzdáleného zálohování a také proto, že ochrana není závislá na komunikaci s protějším koncem chráněného vedení nebo na dalších přídavných zařízeních, neboť využívá proudy a napětí měřené v místě ochrany. Distanční ochrany se využívají nejen pro chránění venkovního a kabelového vedení, ale také pro chránění generátorů a blokových, síťových či distribučních transformátorů. Zde již však působí jako záložní ochrana například rozdílové ochrany u transformátoru.



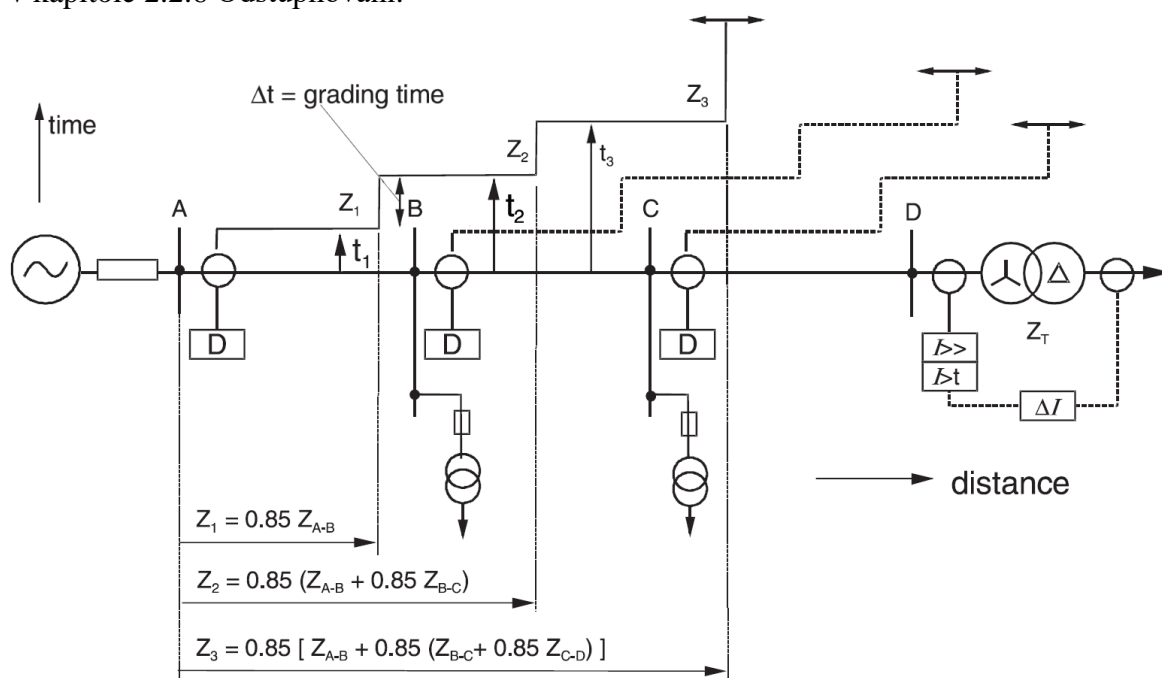
Obr. 4 Princip distanční ochrany a měření zkratové impedance. Převzato z [8].

Využívá princip měření impedance zkratové smyčky, měří proud  $I$  a napětí  $U$ . Obě tyto veličiny jsou vázány ohmovo zákonem  $U=Z \cdot I$ . Veličiny  $U$  a  $I$  určují impedanci zkratové smyčky a jako vedlejší produkt i vzdálenost  $d$  zkratu od ochrany, při známé impedanci vedení na jednotku délky. Distanční ochranu řadíme mezi stupňové ochrany. Stupňové ochrany jsou takové, které potřebují časové zpoždění k získání selektivity. Ochrana, která je zkratu nejbližší (má tento zkrat ve své základní funkci) musí vypnout. Vzdálenější ochrany, jejíž delší čas vypnutí se liší o určitou hodnotu (stupeň). Čas se skládá z vlastní doby vypínače a času stupně ochrany. Pokud by selhal vypínač, který měl zkrat odpojit, převezme vypnutí úseku nejbližší záložní ochrana. Díky měření impedance zkratové smyčky je z velké části zaručeno, že se vypne v nejkratším čase pouze postižený úsek vedení.

Linkové distanční ochrany v elektrizační soustavě poskytují základní chránění linky, pokud protilehlá rozvodna není vybavena systémovou ochranou. Distanční ochrany také lze

využívat k zálohování následných vedení, rozveden i transformátorů. Jedná se tedy o linkovém dosahu a transformátorovém dosahu ochrany.

Kvůli nepřesnostem v měření vzdálenosti, které vyplývají z chyb měřících transformátorů a nepřesnosti impedance vedení (která je obvykle založena na výpočtu a ne na měření) není v praxi možné dosáhnouti chránění na 100 % délky vedení. Pro 1. zónu chránění musí být zvolena bezpečnostní mezera od konce vedení 10 – 15 % délky vedení, aby byla zajištěna selektivita mezi interními a externími poruchami Obr. 5. Zbývající část linky je pokryta 2. zónou ochrany, která musí být časově zpožděna (odstupňovaná) pro zajištění selektivity. Zpoždění  $\Delta t$  bývá v případě digitálních ochran 250 - 300 ms. V tomto časovém zpoždění se uvažuje spínací čas vypínače. Na rozdíl od rozdílové ochrany, která je absolutně selektivní (chráněná zóna je přesně definována umístěním proudových transformátorů na obou koncích vedení). Distanční ochrana nevykazuje absolutní selektivitu, selektivní vypínání proto musí být zajištěno časovým odstupňováním s následující ochranou. Distanční ochrana ještě poskytuje možnost zálohování sousedních vedení, pro tento účel se užívá 2. zóna, který sahá přes sousední přípojnice do sousedních vedení. Pro ochranu celé délky sousedních linek se obvykle používá i 3. zóna. Koordinace nastavení zóny a času se dosáhne odstupňováním charakteristik (grading chart) více v kapitole 2.2.6 Odstupňování.



Obr. 5 Princip distanční ochrany a odstupňování vzdálenosti. Převzato z [8].

Distanční ochrana pracuje se sekundárními veličinami, tj. s veličinami které jsou snižené přístrojovými transformátory proudu (PTP) a přístrojovými transformátory napětí (PTN), tato snižená hodnota odpovídá převodu PTP/PTN a nesmí přesáhnout maximální vstupní hodnotu udávanou distanční ochranou. Nastavení i testování ochrany je možno provádět jak s primárními, tak sekundárními veličinami. Pokud ochrana umí počítat pouze se sekundárními veličinami, tak poté impedance, která je spočítána z výstupu PTP a PTN, musí být převedena podle rovnice (2.1). [2], [8]

$$Z_{sec} = \frac{I_{prim} / I_{sec}}{U_{prim} / U_{sec}} * Z_{prim} \quad (2.1)$$

## 2.1 Charakteristika distanční ochrany

Charakteristika ochrany je pro inženýra základním nástrojem pro hodnocení chování distanční ochrany. V této charakteristice je skutečná impedance, měřená impedance zátěže a impedance zkratu znázorněna v komplexní rovině R-X, Gaussova rovina. Je to množina bodů, která tvoří hranici mezi působením a blokováním ochrany. Funkčnost distanční ochrany vyplývá z impedance Z zkratové smyčky, která je promítnuta do impedanční Gaussovo roviny.

$$x = d * \lambda$$

$$r = d * \rho$$

kde

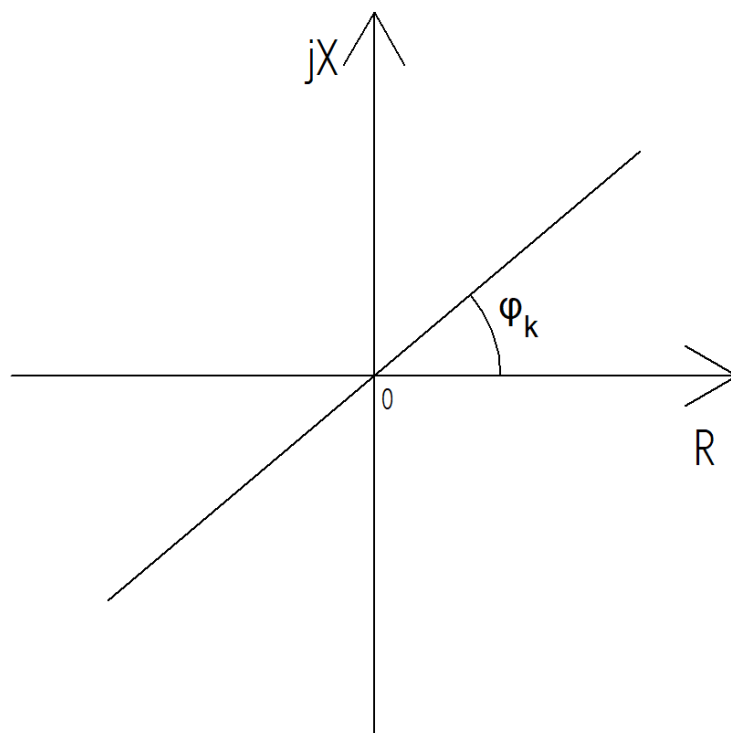
- d – délka zkratového úseku vedení (km),
- $\lambda$  – indukční reaktance 1 km vedení ( $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ),
- $\rho$  – činný odpor 1 km vedení ( $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ),
- x – reaktance zkratovaného úseku vedení ( $\Omega$ ),
- r – činný odpor zkratovaného úseku vedení ( $\Omega$ ).

$$\frac{x}{r} = \text{tg} \varphi_k = \frac{\lambda}{\rho} = \text{konstanta}$$

Posuvný zkrat na vedení se tedy v impedanční rovině pohybuje po přímce se směrnici  $\text{tg} \varphi_k$  je zkratový úhel vedení, kde  $\varphi_k$  je zkratový úhel vedení, jenž můžeme vidět na *Obr. 6*.



To ale platí pouze pro kovové zkraty, pokud by vzniknul oblouk s impedancí  $R_F$  v sérii se  $Z$ . Výslednou impedancí zkratové smyčky můžeme nazvat  $Z_{obl}$ .



Obr. 6 Posuvný zkrat na vedení v impedanční rovině.

Odpor oblouku také závisí na jeho délce, vztah pro výpočet je odvozen empiricky a existuje více variant. Některé vztahy respektují i zvětšování délky oblouku dané rychlostí větru. Zde uvedená varianta je jednou z nejčastěji uváděných a jedná se o Warringtonův vztah:

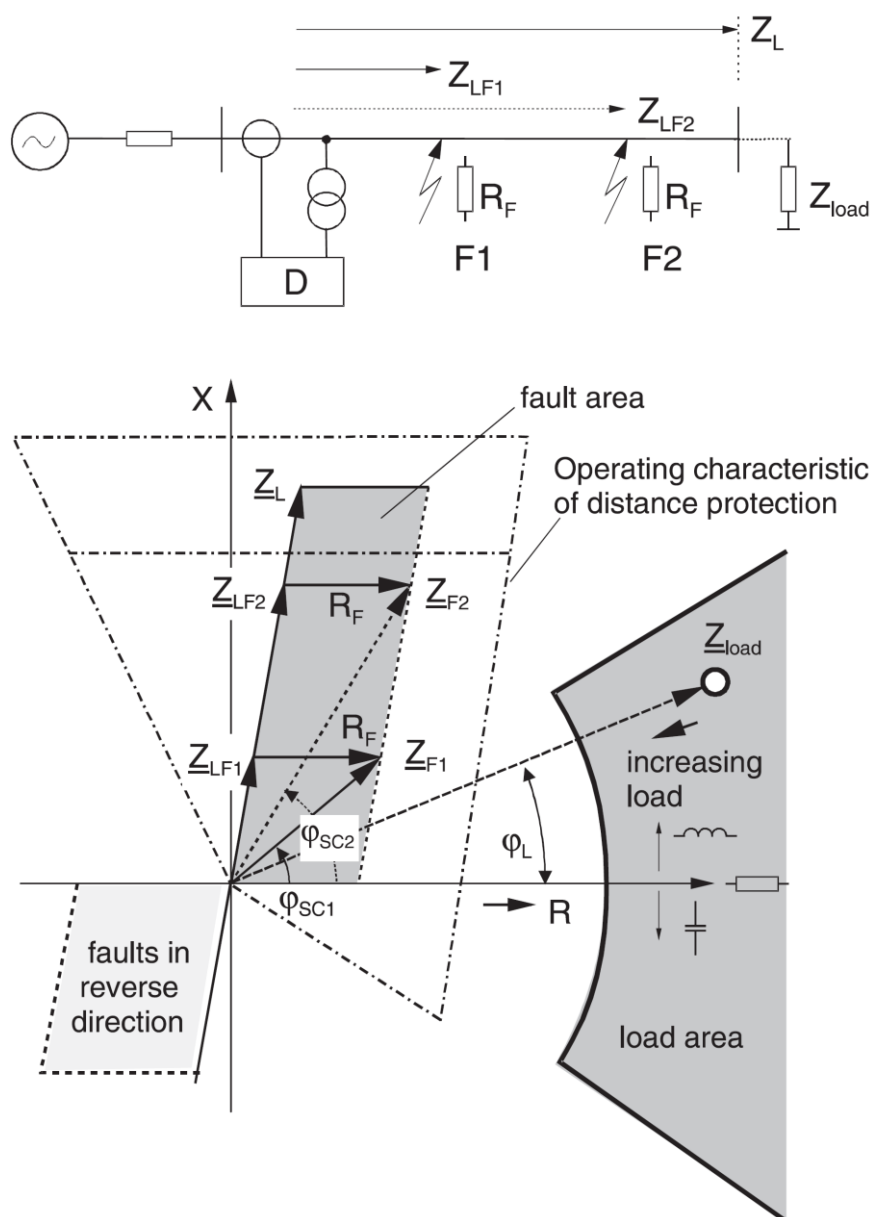
$$R_F = \frac{28707 * l}{I_k^{1,4}} \quad (2.2)$$

Kde:

- $R_F$  – odpor oblouku ( $\Omega$ ),
- $l$  – délka oblouku (m),
- $I_k$  – zkratový proud (A).

Během normálního provozu naměřená impedance odpovídá impedanci zátěže, její velikost je nepřímo úměrná množství přenášeného výkonu ( $Z_{load} = U^2 / P_{load}$ ). Úhel mezi napětím a proudem odpovídá úhlu  $\varphi_L$  Obr. 7. Po vzniku poruchy naměřená impedance klesne na poruchovou impedanci. Hodnota poruchové impedance odpovídá impedanci vedení mezi ochranou a místem poruchy (uvažujeme poruchu na vedení se zanedbáním motorů nebo transformátorů) na Obr. 7 tuto impedanci znázorňuje ZLF1 nebo vzdálená

porucha ZLF2. Pokud je přítomen i odpor oblouku v místě poruchy je k impedanci vedení přičtena další odporová složka  $R_F$ . Úhel měřený mezi napětím a proudem se změnil na  $\varphi_{SC}$ .



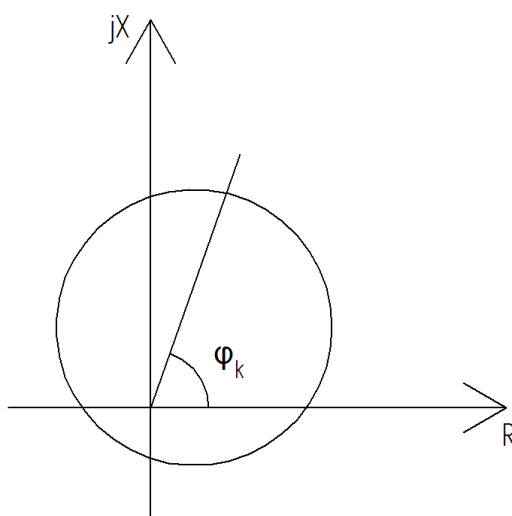
Obr. 7 Charakteristika distanční ochrany. Převzato z [8].

Provozní charakteristika distanční ochrany je definována pevným tvarem v diagramu impedance. Tím je oblast poruchy izolována od oblasti zátěže a je stanoven dosah distančních zón. Konečná směrová charakteristika definuje dvě impedanční oblasti, ze kterých ochrana zjistí, zda je zkrat v dopředném nebo zpětném směru. [2], [5], [8]

### 2.1.1 Charakteristiky analogových ochran

Analogové ochrany pracují s kuželosečkovými charakteristikami z důvodu rychlosti a stability v přechodných stavech. Kuželosečkové charakteristiky jsou nastaveny pro daný úhel zkratové smyčky. Pokud se úhel zkratové smyčky zásadně liší, je v ochraně vytvořeno zpoždění z důvodu zachování charakteristiky. Ochrana spustí až po odeznění stejnosměrné složky. Základní kuželosečkovou charakteristikou je kružnice se středem v počátku, taková charakteristika není směrová a je třeba ji vymežit směrovým členem.

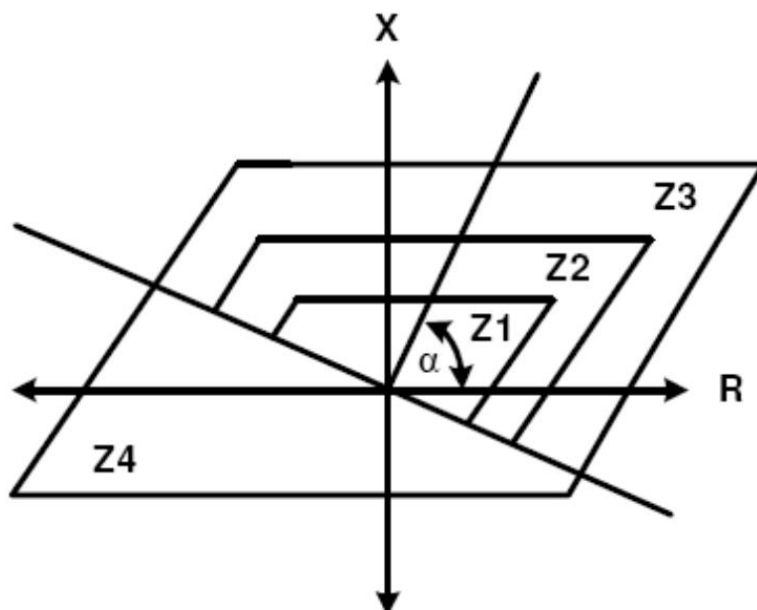
Pro chránění je vhodnější vysunutá kruhová charakteristika „offset-mho“ ve směru zkratového úhlu vedení. [2], [5]



Obr. 8 Vysunutá kruhová charakteristika „offset-mho“.

### 2.1.2 Charakteristiky digitálních ochran

Digitální ochrany nemají omezení při tvorbě impedanční charakteristiky jako analogové ochrany. Charakteristiku digitální ochrany můžeme nastavit s ohledem na impedanci zátěže i případné oblouku, nezávisle pro všechny zóny.



Obr. 9 Charakteristika digitální distanční ochrany.

Hlavní výhody digitálních distančních ochran jsou:

- Přesnost a citlivost – díky stále zvyšujícímu se výpočtovému výkonu a schopnosti multiprocessorové zpracování, je možné vstupní veličiny vzorkovat s velmi vysokou frekvencí a ty pak zpracovat.
- Spolehlivost a samokontrola – digitální ochrany, mají zabudovaný sebe kontrolující hardware například pro přístrojové transformátory. Pokud ochrana zjistí, že nějaká její část přestala fungovat tak to okamžitě signalizuje. Pokud například ochrana distanční zjistí, že přístrojový transformátor napětí nepracuje korektně, tak se z ní stává ochrana nadproudová, což také signalizuje. U analogových ochran byla porucha zjištěna pouze při pravidelných revizích.
- Variabilita distančních charakteristik – při tvorbě impedanční charakteristiky je nastavení v rezistenčním a v reaktančním směru vzájemně nezávislé, což je výhodné zvláště s ohledem na provozní impedanci. Tato variabilita nastavení zaručuje selektivitu i pro odporové zkratky.
- Více nastavení – který jsou naprogramování a distanční ochrana mezi nimi může přepínat, buď sama nebo na lidský povel (z dispečinku nebo přímo na ovládacím panelu ochrany). [2], [5]

## 2.2 Nastavení distančních ochran

### 2.2.1 Popudový člen

Popudový člen rozpozná poruchu v síti, klasifikuje jí a rozběhne (dá popud) ochraně. Měl by spolehlivě rozeznat postižené fáze od zdravých, tj. být fázově selektivní. Což je zvláště důležité při jednofázových zkratech pro zdárný průběh cyklu opětného zapínání. Používají se tyto principy:

- Nadproudový popud – Jedná se o nejjednodušší a nejrychlejší typ rozpoznání poruchy, reakce na zvýšení průchozího proudu. Není vhodný v uzemněných sítích kvůli Bauchovo paradoxu.
- Nadproudový popud s podpětovým uvolněním – Se sledováním velikosti proudu lze i sledovat další kritérium a to úroveň napětí. Nicméně tento popud je využívá jen zřídka, více se využívá impedanční popud.
- Impedanční popud – Impedance je měření v šesti možných smyčkách (3 fáze - země a 3 fáze – fáze), když měřená impedance spadne do popudového polygonu, tak popudový člen zapůsobí. Tento popud se již užíval v elektromechanických ochránách, charakteristika ale měla jednoduchý tvar, který se skládal z kruhů a přímk. Takováto charakteristika mohla zasahovat do oblasti zátěže nebo nebyla dostatečně citlivá pro vzdálené poruchy. Tento problém byl eliminován u digitálních distančních ochran, kdy můžeme zvolit libovolný tvar popudové charakteristiky.

Současné digitální ochrany mají popudovou charakteristiky ve tvaru polygonu, který můžeme libovolně nastavovat a lze i nastavit jednotlivé charakteristiky pro jednofázové a vícefázové poruchy. Takže pro jednofázovou poruchu můžeme nastavit větší citlivost směrem k oblasti zátěže a zvětšit rezervu pro obloukové zkraty. [2], [5]

### 2.2.2 Určení směru

Porucha se může nacházet v obou směrech od místa instalace distanční ochrany, a proto je nutné aby každá distanční ochrana byla vybavena co nejspolehlivějším směrovým členem, který dokáže rozlišit zda se porucha nachází ve směru do chráněného vedení nebo v protisměru do přípojníc. Měření směru je podobné jako měření poruchové impedance. Pro určení směru se porovná úhel natočení fázoru napětí větve nepostižené poruchou, přesněji řečeno uložená hodnota tohoto referenčního napětí a proudu postižené fáze. Fázor zdravé

fáze v komplexní rovině leží kolmo na fázor postižené fáze. Při blízkých tří fázových zkratech tato metoda není spolehlivá, jelikož jsou všechna napětí zhroucena a nelze je použít pro směřování. Tento princip se používal již v elektromechanických ochranách.

Firma ABB pro určování směru používá sousledné složky příslušného napětí, pro smyčku L1-E má rovnice pro směr „vpřed“ (do vedení) tvar: [2], [5]

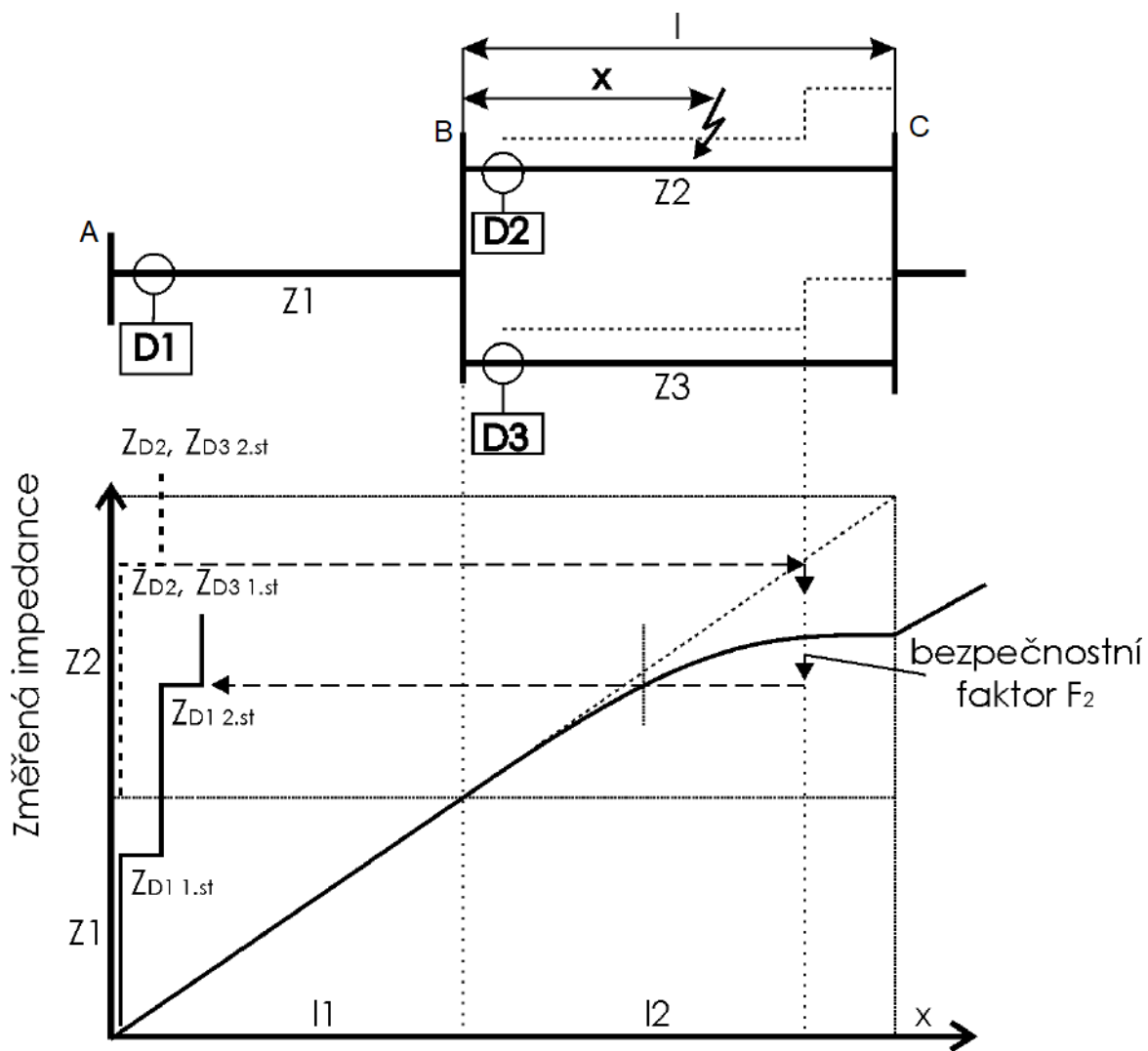
$$-15^\circ < \arg \frac{0,8 \cdot \overline{U_{1L1}} + 0,2 \cdot \overline{U_{1L1M}}}{\overline{I_{L1}}} < 115^\circ \quad (2.3)$$

### 2.2.3 Stupně ochrany

Distanční ochrany pracují v několika stupních, tyto stupně jsou od sebe časově zpožděny a vytváří schodovitou křivku (Obr. 5) v závislosti na měření impedance k poruše. Kvůli selektivitě jsou vyšší stupně zpožděny oproti tomu prvnímu. Což znamená, že při zkratu v úseku B-C (Obr. 5), tak nejprve zareaguje ochrana v místě B a v případě jejího selhání vypíná ochrana v místě A se zpožděním, která tvoří vzdálenou záložní ochranu. Pro dodržení selektivity je třeba počítat s bezpečnostním odstupem jak v impedanční tak i v časové oblasti. Bezpečnostní odstup je dán faktorem, kterým je vynásobena vzdálenost od následující zóny, např. při faktoru 0,85 činí odstup 15 % (více v kapitole 2.2.6 Odstupňování). [5], [8]

### 2.2.4 Nastavení paralelních vedení

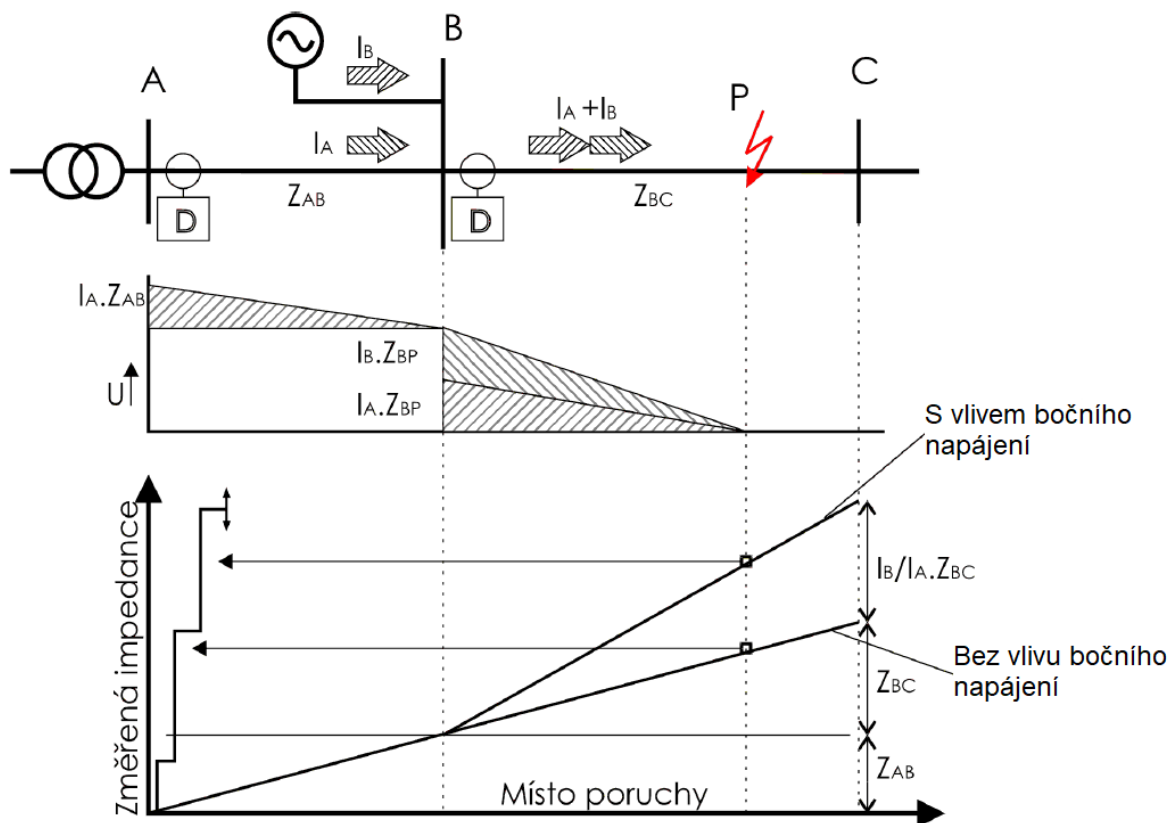
Paralelní vedení má vliv na měřenou impedanci poruchové smyčky. Vlivem paralelního vedení ochrana naměří menší impedanci než u jednoduchého vedení. Pokud dojde k poruše na vedení 2 ve vzdálenosti  $x$  od přípojnice B, pak ochrana D1 v přípojnici A změří impedanci  $Z_{D1}$ . Parabolický průběh změřené impedance je dán paralelním zapojením impedancí  $\frac{x}{1} \cdot Z_2$  a  $Z_3 + \left(1 - \frac{x}{1}\right) \cdot Z_2$ . Pokud  $x = 1$  jsou impedance  $Z_2$  a  $Z_3$  zapojené paralelně, poté se výsledná impedance jeví jako poloviční za předpokladu, že impedance  $Z_2$  a  $Z_3$  jsou stejně velké. [5]



Obr. 10 Nastavení paralelního vedení. Převzato z [5].

### 2.2.5 Efekt bočního napájení

Boční napájení má vliv na měřenou impedanci poruchové smyčky. Vlivem bočního napájení vedení ochrana naměří větší impedanci a porucha se jeví, že je vzdálenější než ve skutečnosti je a může být vypnuta v delším čase, což je přesně opačný efekt než u paralelního vedení. Proud z mezilehlého napájení způsobí další úbytek napětí na zkratové impedanci, což má za následek zvýšení napětí v místě ochrany. Čím je větší proud z bočního napájení oproti proudu v místě ochrany, tím je chyba větší. [5]



Obr. 11 Vliv bočního napájení na měření distanční ochrany. Převzato z [5].

### 2.2.6 Odstupňování

Nejjednodušší případ vypínací charakteristiky v časové rovině je pro přípojnicí napájenou z jednoho konce. Aby byla zajištěna selektivita vypínání se sousedními zónami musí být zachována bezpečnostní rezerva ve vzdálenosti a v čase vypínání. Bezpečnostní rezerva je určena faktorem bezpečnostním koeficientem, pro správné nastavení zóny je vzdálenost k sousední zóně je vynásobena bezpečnostním koeficientem. Proto k dosažení odstupňování o 15 % musí být použit bezpečnostní koeficient 0,85. Bezpečnostní koeficient zohledňuje chyby měření, chyby přístrojových transformátorů (PTP/PTN) a nepřesnost parametrů vedení. Obvykle se užívají tyto hodnoty bezpečnostního koeficientu:



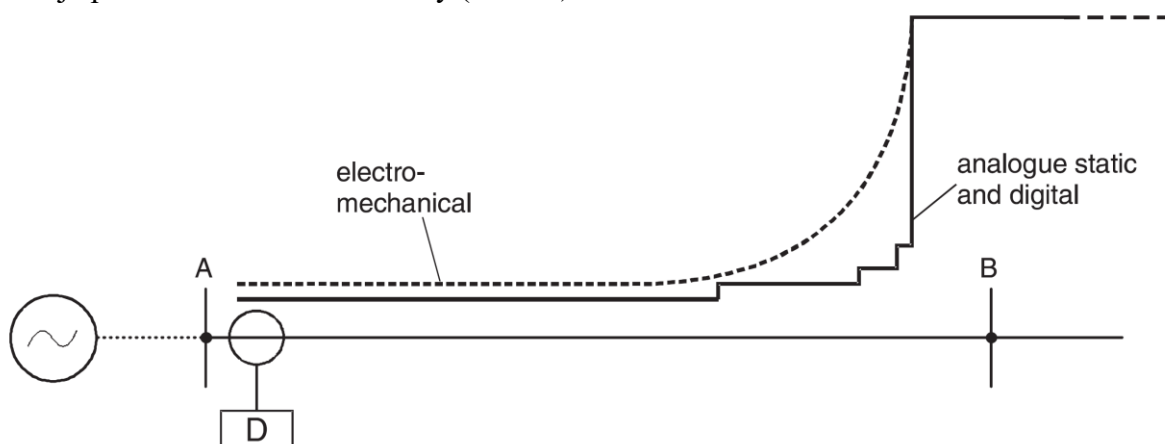
- 0,80 – pro elektromechanické ochrany,
- 0,85 – pro digitální ochrany,
- 0,90 – pro digitální ochrany, pokud jsou parametry linky určeny měřením.

$$Z_1 = 0,85 \cdot Z_{AB} \quad (2.4)$$

$$Z_3 = 0,8 \cdot [Z_{AB} + 0,8 \cdot (Z_{BC} + 0,85 \cdot Z_{CD})] \quad (2.5)$$

$$Z_3 = 0,8 \cdot [Z_{AB} + 0,8 \cdot (Z_{BC} + 0,85 \cdot Z_{CD})] \quad (2.6)$$

,Toto nastavení bere v úvahu fakt, že limit dosahu zóny není absolutní, zvláště u elektromechanických ochrany se doba, za kterou zapůsobí ochrana se exponenciálně zvětšuje čím je porucha blíže ke konci zóny (Obr.12).



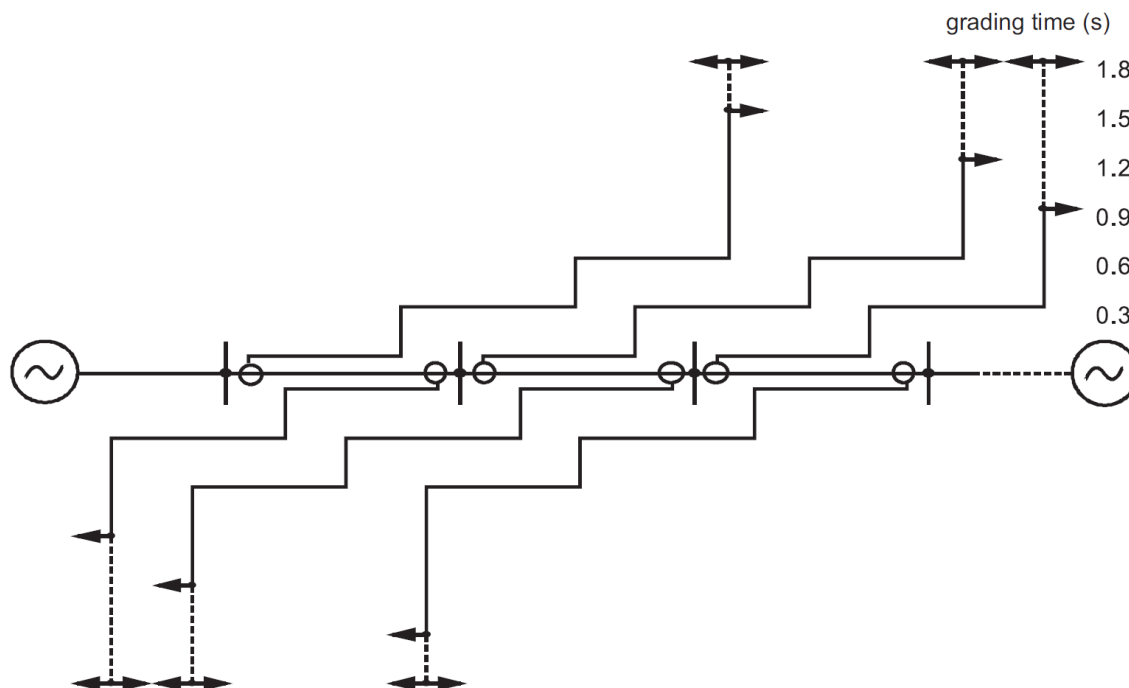
Obr.12 Prodloužení doby zapůsobení ochrany v závislosti na vzdálenosti poruchy.

Převzato z [8].

Pro výpočet odstupňování se nejdříve vypočítá 1. zóna, tato zóna je dána chráněným vedením A (Obr. 5). Následuje určení 2. zóny, pro tu se použije jako referenční 1. zóna následující ochrany v místě B. To samé platí pro 3. zónu, jako referenční se použije konec 2.zóny následujícího ochrany B.

Pro dosažení funkce záložní ochrany při poruše přípojnice v sousední rozvodně, by nastavení 2. zóny, pokud je to možné, mělo dosahovat aspoň 20 % za konec linky. Pokud se tohoto nastavení nedá dosáhnout, je zapotřebí nastavit pomalejší dobu zapůsobení ochrany ve 3. zóně.

Na přípojnicích, které jsou napájené ze dvou stran, například v kruhových sítích, musí být odstupňování vytvořeno pro každý směr zvlášť. Toho je možné dosáhnout za pomoci směrování zón a opožděným sepnutím směrového členu. Zpožděné sepnutí nesměrového členu nelze integrovat do odstupňování, nebyla by zachována selektivita protože nesměrový člen reaguje na proudy tekoucí oběma směry. [8]



Obr. 13 Odstupňování ochrany při napájení přípojnice ze dvou konců.

### 2.3 Vazby distančních ochran

Distanční ochrany při chránění vedení nepokryjí 1. zónou celé vedení, ale jen 80 -90 % jeho impedanční délky. Tato situace se řeší vazbou distančních ochran, ochrana, která zapůsobí v 1. zóně, předá signál po přenosovém kanálu na protější stranu vedení. Takto mohou být vypnuty oba konce vedení současně. Používají se tři metody vazeb distančních ochran:

- strhávání,
- uvolňování,
- blokování.

Dříve se jako přenosový kanál využívala vysokofrekvenční vazba po venkovním vedení vvn, krátkovlnné pojítko nebo galvanické vedení. Dnes se pro přenosový kanál

používá optické vlákno umístěné v kombinovaném zemnicím laně. Vazby distančních ochran se převážně používají v přenosových soustavách, v distribuční soustavě je nalezneme spíše výjimečně. [5]

### 2.3.1 Strhávání

Strhávání se řadí mezi nejjednodušší způsob vypínání bez zpoždění v oblasti druhé zóny. Ochrana A vysílá signál k protější ochraně B a ochrana B naopak vysílá signál k ochraně A. Pokud zapůsobí směrový popud současně nabíhá i protější ochrana. Je důležité, aby signál mohl být přenášén i při poruše chráněného vedení. Existuje více metod strhávání:

- Přímé strhávání – je nejrychlejší metoda strhávání, ale také nejméně selektivní. Pokud po přenosové cestě dojde k rušení, může dojít k chybnému vypnutí.
- Strhávání přes popud – impuls z protějšího konce může vypnout pouze v případě současného působení popudové členu ochrany.

Prodlužování charakteristiky – pracuje, tak že impuls od protější ochrany zvětšuje dosah měřicího členu a prodlužuje tak charakteristiku distanční ochrany přes 100 % délky vedení. Tato metoda je využívána v automatické opětného zapínání (viz kapitola 2.4 Automatika opětného zapínání). [5]

### 2.3.2 Systém uvolňování

Překlenuje časové zpoždění 2. zóny ochrany, tím prodlouží 1. stupeň až na konec oblasti 2. stupně. Je důležité, aby signál mohl být přenášén i při poruše chráněného vedení. [5]

### 2.3.3 Systém blokování

Systém blokování působí i v okamžiku je-li při poruše přerušén přenosový kanál. Pracuje na principu negace systému uvolňování, tj. ochrana vysílá tehdy, má-li protější ochrana blokovat. Přenos trvá určitou dobu a signál na příjmu musí být zpožděn, proto se užívá koncové relé, které má náběh zpožděn nejméně o dobu přenosu signálu. [5]

## 2.4 Automatika opětného zapínání

Na venkovním vedení se mohou vyskytovat poruchy trvalého nebo přechodného charakteru. Porucha trvalého charakteru je ta, při které je například vlivem přepětí porušén vodič, izolátor atd. a postižené místo musí být definitivně odpojeno. Valná většina poruch

na venkovních vedení (přibližně 70 až 90 %) je přechodného charakteru, tyto poruchy po odpojení vedení zmizí a jsou způsobené například atmosférickým přepětím, zapálení oblouku cizími předměty (spadlé větve stromů) přiblížení vodičů například vlivem povětrnostních podmínek.

Odpojení vedení, které je postižené poruchou přechodného charakteru, by způsobilo zbytečné omezení dodávky. Proto je užívána automatika opětného zapínání (OZ), která doplňuje funkci ochrany a zajišťuje spolehlivější provoz distribučních a přenosových sítí.

Úspěšný cyklus opětného zapínání probíhá následovně:

- Ochrana zjistí poruchu a v co nejkratším čase dá popud k odpojení vedení z obou stran.
- Po krátké době (1 s pro 1 pólový OZ a 0,3 s pro 3 pólový OZ) dá systém OZ popud k opětnému zapnutí vypínačů.
- Pokud byl cyklus opětného zapínání úspěšný, tj. porucha byla v beznapěťové pauze zlikvidována, provoz pokračuje dál bez přerušení dodávky elektrické energie.

Neúspěšný cyklus opětného zapínání probíhá následovně:

- Ochrana zjistí poruchu a v co nejkratším čase dá popud k odpojení vedení z obou stran.
- Po krátké době (1 s pro 1 pólový OZ a 0,3 s pro 3 pólový OZ) dá systém OZ popud k opětnému zapnutí vypínačů.
- Pokud byl cyklus opětného zapínání neúspěšný, tj. porucha nebyla v beznapěťové pauze zlikvidována, musí ochrana dát impuls k vypnutí postiženého vedení ve všech tří fázích na obou koncích vedení, ale systém OZ již není zapínán.

V soustavách s účinně uzemněným uzlem představuje spojení jedné fáze se zemí zkrat, se užívá i jednofázového OZ. U těchto druhů sítí je tato porucha nejčastější a obvykle je přechodného charakteru. Proto se u sítí 110 kV užívají jednopólové vypínače, které umožňují vypnout každou fázi zvlášť.

Oboustranně napájené vedení musí být současně odpojeno, ochrany musí popud vydat současně, z obou stran, aby bylo opětovné zapnutí úspěšné. Pro současnost opětovného zapnutí existují dvě metody:

- Spojovací kanál mezi oběma konci vedení – jenž rozdílové a srovnávací ochrany užívají už ze svého principu. Užíván pro strhávání.
- Prodloužením 1.zóny – se řeší tato situace u distančních ochran bez vazby mezi oběma konci (typicky v distribuční soustavě na hladině 110 kV), 1. zóna se prodlouží z běžných 80 % až na 120 % vedení. Poté i při poruše na konci vedení, v 1. zóně, dochází k současnému opětovnému zapnutí. Pokud by se nechalo nastavení na původních 80 % vedení, jedna ochrana by vypínala až v druhé zóně, tj. později. Logika opětovného zapnutí nám zajišťuje, že k prodloužení první zóny dojde pouze při prvním pokusu o vypnutí. Pokud by byl cyklus OZ neúspěšný, tak z důvodu selektivity požadujeme, aby porucha u konce vedení byla vypnuta definitivně až v druhé zóně. Proto jsou distanční ochrany vybaveny zvláštním stupněm pouze pro cyklus opětovného zapínání. Při použití tohoto způsobu je zde riziko, že při poruše na začátku vedení zareaguje ochrana napájecího vedení, díky nastavení opětovného zapnutí na 120 %. Takovýto cyklus opětovného zapnutí je nechtěný, ale kromě krátkého přerušení napětí v rozvodně nemá žádné další následky a není nebezpečný.

Cyklus opětovného zapínání se neužívá u vedení připojující elektrárnu k elektrizační síti, vlivem opětovného zapínání zde hrozí ztráta synchronismu. To týká jak velkých, tak i malých zdrojů, jako např. malé vodní elektrárny kde nehrozí ztráta synchronismu, ale hrozí poškození soustrojí. [5], [6]

## 2.5 Ochrana ABB REF630

Ochrana REF630 od firmy ABB je komplexní IED (IED = inteligentní elektronické zařízení), které je určeno pro chránění, ovládání, měření a monitorování distribučních rozvodů energetických společností i průmyslových podniků. REF630 je jedním z mnoha výrobků z produktové řady Relion® firmy ABB a také je součástí produktové řady 630. Podporuje komunikační protokol IEC 61850. Je užívána převážně pro chránění venkovních vedení a kabelových vývodů, pro izolované sítě i pro odporově nebo impedančně uzemněné sítě. Ochrana je vybavená funkcí Synchrocheck (kontrola synchronního stavu),

tato funkce kontroluje zda hodnoty napětí, fázového úhlu a frekvence splňují definované podmínky na obou stranách spínaného prvku pro bezpečné sepnutí dvou sítí.

Pro snazší manipulaci ochrana nabízí místní a dálkové ovládání a také nabízí 14 binárních vstupů (BI) a 9 binárních výstupů (BO) (Obr. 15), které umožňují vytvářet funkce pro ovládání rozvodny, nastavit blokovací podmínky a získávat informace o stavu (VYP/ZAP) jednotlivých prvků v rozvodně. Počet ovládaných prvků je závislý na počtu dostupných BI/BO. Integrovaný poruchový zapisovač má 40 analogových a 64 binárních kanálů, analogové kanály lze nastavit pro záznam průběhů měřených proudů a napětí. Analogové kanály je možno nastavit tak, že záznam se spustí když měřená hodnota klesne pod/překročí nastavenou hodnotu a binární kanály lze nastavit tak aby reagovali na náběžnou/sestupnou hranu signálu. Binární kanály jsou užívány pro záznam externích i interních signálů ochrany, například pro záznam vypínacích, popudových, blokovacích nebo případně i ovládacích signálů. V paměti poruchového zapisovače lze uložit až 100 záznamů, počet uložených záznamů je závislý na jejich délce a na počtu monitorovaných signálů. Poruchový zapisovač aktivuje LED diody *Start* (Popud) a *Trip* (Působení) na čelní straně ochrany, aktivace těchto diod je plně konfigurovatelná.

Ochrana také umožňuje nepřetržitě monitorovat stav a pracovní podmínky vypínače, což zahrnuje kontrolu času potřebného k natažení pružiny vypínače, kontrola tlaku plynu SF<sub>6</sub>, monitorování hodnot v čítači manipulace s vypínačem a monitorování neaktivní doby vypínače. Tyto data jsou užitečná pro plánování preventivní údržby vypínače. Dále je ochrana vybavena funkcemi kontroly vypínacího obvodu, samočinné kontroly, kontroly poruchy pojistek (jištění) a kontroly proudového obvodu.

Dle zvolené konfigurace je ochrana vybavena třemi vstupy pro fázové proudy, třemi vstupy pro fázové napětí, jedním vstupem pro nulovou složku napětí, jedním nebo dvěma vstupy pro nulový proud a volitelně je vybavena jedním napěťovým vstupem, který je vyhrazen pro funkci Synchrocheck. Proudové vstupy mají vstupní hodnotu 1 / 5 A, vstupy pro nulový proud mají vstupní hodnotu buď 1 / 5 A nebo 0,1 / 0,5 A. Napěťové vstupy mají rozsah 100 V, 110 V, 115 V a 120 V. Hodnoty které ochrana měří jsou přístupné místně přes uživatelské rozhraní na čelním panelu ochrany nebo dálkové prostřednictvím komunikačního rozhraní. Ochrana umožňuje měřit tyto veličiny:

- fázové proudy,
- souslednou, zpětnou i nulovou složku proudů,

- fázová nebo sdružená napětí,
- souslednou zpětnou i nulovou složku napětí,
- činný, jalový i zdánlivý výkon,
- účinník,
- hodnotu odběru energie za časový interval (spotřebu).

Ochrana má z výroby předdefinované konfigurace, které jsou snadno přizpůsobitelné pro různé aplikace. Tyto předdefinované konfigurace jsou méně náročné pro nastavení, tuto předkonfiguraci lze upravit pro danou aplikaci v nástroji PCM6000 (Protection and Control IED Manager).

Ochrana je mimo jiné vybavena distanční ochranou, která nabízí jak zónové kruhové charakteristiky (MHO), tak i zónové čtyřúhelníkové charakteristiky. Distanční ochrana obsahuje tři nezávislé zóny se samostatně nastavitelnými dosahy měřících členů mezifázových a zemních poruch a také obsahuje dvě zóny určené pro řízení funkce automatického zapnutí vypínače.

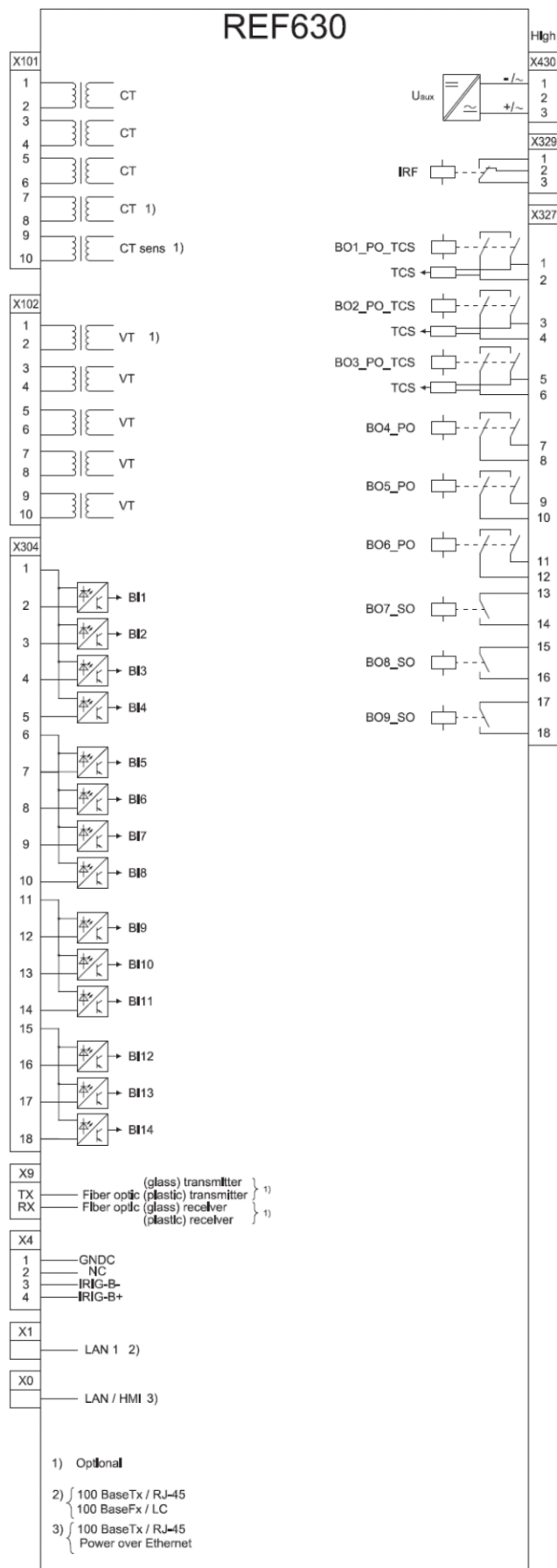
Ochrana dále nabízí tyto druhy chránění:

- selektivní zkratové,
- nadproudové,
- selektivní zemní,
- pro přechodné/přerušované zemní poruchy,
- podpěťové/přepěťové,
- funkce automatického opětného zapnutí. [3], [4]



*Obr. 14 Ochrana ABB REF630. Převzato z [4].*





Obr. 15 Svorkovnicový výkres ochrany REF630. Převzato z [4].

### 3 Železniční napájecí soustava

Z elektroenergetického hlediska dělíme železniční napájecí soustavu zda se užívá stejnosměrné či střídavé systém pro napájení trakčních motorů. Toto rozdělení je dáno historickým vývojem železnice.

#### 3.1 Historický vývoj železniční napájecí soustavy

Prvním, vývojem použitým napájecím systémem, byl stejnosměrný systém o nízké hladině napětí (250 V až 1200 V), převážně určený pro pouliční a důlní dráhy. Dnes se s tímto napájecím systémem můžeme setkat převážně u tramvají a trolejbusů (600 V<sub>DC</sub>) a podzemních drah (750 V<sub>DC</sub>). Výjimkou je S-Bahn v Hamburku, označení pochází z německého Stadtschnellbahn (městská rychlodráha), kde hodnota napájecího napětí je 1200 V<sub>DC</sub>. Tento napájecí systém se nehodil pro provoz hlavních tratí, převážně z nevhodnosti přenosu energie o výkonech až 10 MW na vzdálenosti v řádech desítek až stovek kilometrů (velké úbytky napětí).

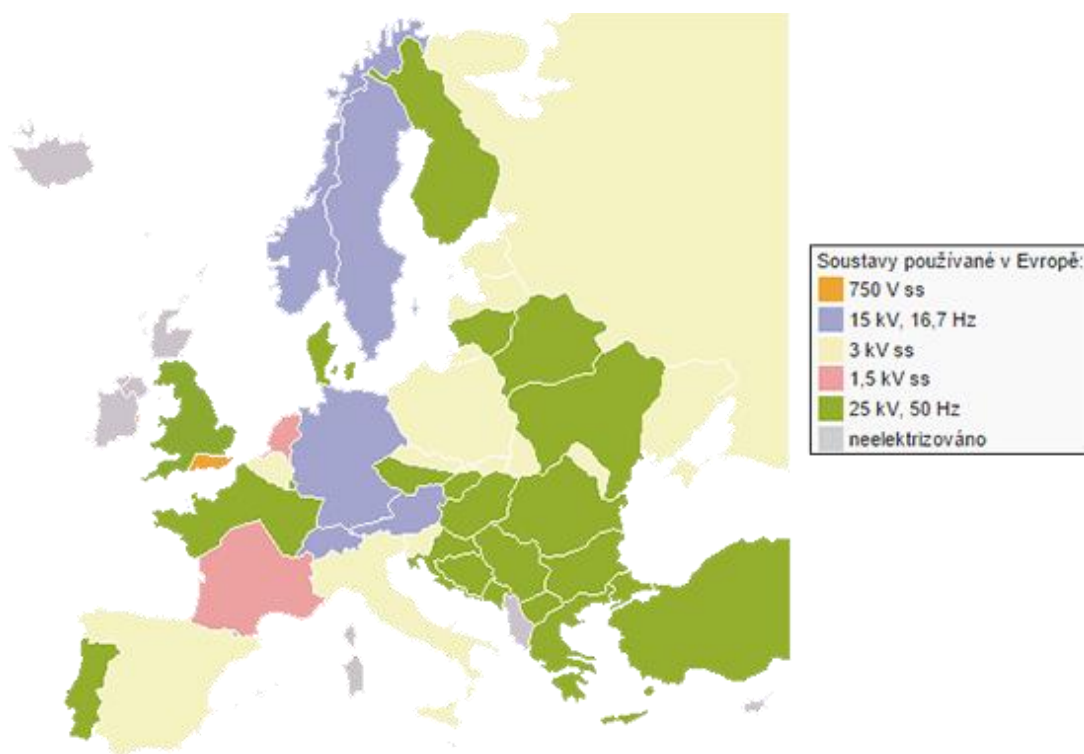
Dalším milníkem ve vývoji železničních napájecích systémů, byl stejnosměrný o vysoké hladině napětí (1500 V<sub>DC</sub> nebo 3000 V<sub>DC</sub>). Tento napájecí systém se převážně rozšířil po zvládnutí techniky vysokého napětí na trakčních motorech, což znamená hodnota 1500 V na komutátoru a izolační vzdálenost pro 3000 V. Vozidla, která se pohybují na stejnosměrném systému se vyznačují jednodušší konstrukcí oproti vozidlům, které se pohybují po střídavém systému. Další výhodou je snazší rekuperace a následné využití této energie. Tento napájecí systém byl dimenzován pro osobní vlaky jezdící až 120 km / h, pro osobní dopravu stačil měrný výkon 4 kW / t, a nákladní vlaky jezdící až 60 km / h, pro nákladní dopravu stačil měrný výkon 1kW / t. V současné době na hladině 3 kV<sub>DC</sub> jezdí osobní vlaky až 160 km / h, nákladní až 100km / h a měrný výkon se musel zvednout až trojnásobně a tím se zvedli i ztráty na vedení, které rostou s druhou mocninou proudu, devítinásobně. V současné době se ztráty na trakční vedení běžně pohybují okolo 20 až 30 %. Tento napájecí systém již brzy přestane stačit na přenos zvyšujících se výkonů jak v osobní tak v nákladní dopravě. Z dlouhodobého hlediska je přechod ze stejnosměrného na střídavý systém nevyhnutelný. Stejnosměrná soustava 3000 V<sub>DC</sub> se vyskytuje na územích Česka (sever), Slovensko (sever), Španělsko, Itálie, Polsko a převážně Rusko. Více je patrné z grafického znázornění z Obr. 16.

Následným krokem v rozvoji trakčních napájecích systémech byla jednofázová střídavá soustava, která umožňovala přenášet vyšší výkony na delší vzdálenosti, se sníženým kmitočtu. Snížení oproti průmyslovému kmitočtu bylo převážně z důvodu opalování lamel komutátoru vlivem silného jiskření. Proto se rozhodlo o snížení kmitočtu na  $1/3$  z 50 Hz, tedy na 16,66 Hz. Jednalo se o rozumný kompromis mezi zvětšením rozměrů transformátoru a zlepšenou komutací, také se dospělo ke zmenšení průřezu jednopólového vedení, snížením impedance trakčního vedení a tím i počtu napájecích stanic. Používáním tohoto napájecího systému, byly železnice donuceny k zavedení vlastní výroby elektrické energie se sníženým kmitočtem a ke stavbě dálkových vedení. Mezi jednofázové napájecí soustavy se sníženým kmitočtem můžeme zařadit systému v rozmezí 5 až 11 kV – 25 Hz, vyskytující se převážně v USA, a soustavy 10 až 15 kV – 16,66 Hz, která se používá v Evropě. S rozvojem polovodičové techniky a kvůli zamezení vzniku nežádoucích rezonančních jevů v rozvodné síti, se snížený kmitočet modifikoval na 16,7 Hz. V české republice se soustava 15 kV – 16,7 Hz vyskytuje pouze na trati Znojmo – Šatov na státní hranici s Rakouskem.

Z hlediska hospodárnosti, jak z pohledu výroby tak rozvodu elektrické energie, se jako nejlepší jeví jednofázový trakční napájecí systém o průmyslovém kmitočtu. Více informací o tomto napájecím systému v následující kapitole. [9], [10], [13]

Tabulka 2 Jmenovitá napětí a jejich přípustné mezní hodnoty. Převzato z [13].

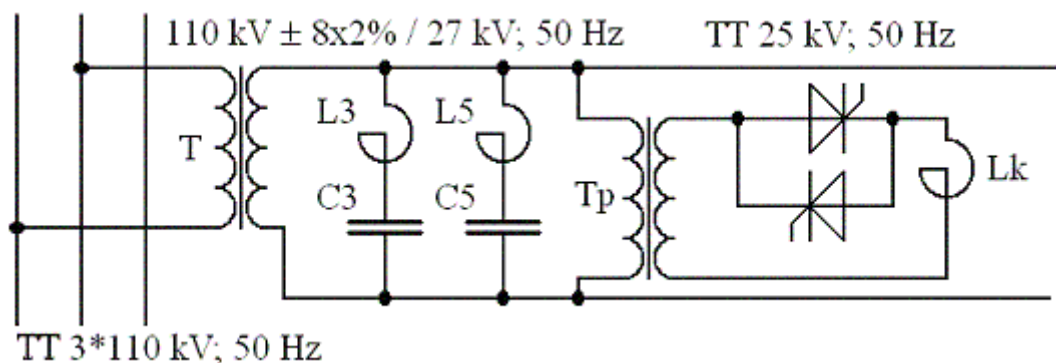
Elektrizační soustava	Nejnižší krátkodobé napětí $U_{\min 2}$ [V]	Nejnižší trvalé napětí $U_{\min 1}$ [V]	Jmenovité napětí $U_N$ [V]	Nejvyšší trvalé napětí $U_{\max 1}$ [V]	Nejvyšší krátkodobé napětí $U_{\max 2}$ [V]
DC	1 000	1 000	1 500	1 800	1 950
(střední hodnoty)	2 000	2 000	3 000	3 600	3 900
AC	17 500	19 000	25 000	27 500	29 000
(efektivní hodnoty)					



Obr. 16 Přehled používaných trakčních soustav v Evropě. Převzato z [9].

### 3.2 Jednofázový trakční napájecí systém průmyslového kmitočtu

Tato napájecí soustava vznikla ze snahy o zjednodušení napájení trakčního vedení prostřednictvím energetické sítě průmyslového kmitočtu (50 Hz). Cílem bylo zvětšit přenosovou kapacitu vedení vlivem vyšší hladiny vedení. Další výhodou tohoto systému je společná výroba a rozvod elektrické energie jak pro energetickou tak pro trakční síť a jednoduchá transformace napětí v trakčních napájecích stanicích nebo v samotných vozidlech. Většina nově budovaných tratí dává přednost střídavé napájecí soustavě o napěťové hladině 25 kV s kmitočtem 50 Hz (s tolerancí  $\pm 1$  Hz) dle ČN EN 50 163 (33 500) čl. 3.1. Trakční vodič se zmenšil přibližně na čtvrtinu oproti stejnosměrnému systému o napětí 3 kV. Negativní stránkou tohoto napájecího systému je větší složitost a cena elektrických lokomotiv, deformace proudové křivky, nerovnoměrné zatížení energetické sítě a nižší účinnost, který musí být kompenzován pomocí filtrační kompenzační stanice. Filtračně kompenzační stanice obsahuje dvě paralelně řazené sériové LC rezonanční větve, snižovací transformátor, dekompenzační tlumivku a tyristorový regulátor. Sériové rezonanční filtry jsou laděny na 3. a 5. harmonickou, filtrují dominantní harmonické proudy a také jsou zdrojem kapacitního kompenzačního výkonu pro první harmonickou. Filtry jsou připojeny přímo na trakční vedení a jsou určeny i pro venkovní instalaci.



Obr. 17 Zapojení filtrační kompenzační stanice.

Tento napájecí systém je napájen z distribuční sítě o hladině 110 kV a napětí je za pomoci transformátoru v trakční napájecí stanici, nejčastěji s výkonem 12 MVA, převedeno na 25 kV hladinu. Trakční napájecí stanice je připojena jen na jedno sdružené napětí a i čistě rezistivní zátěž zde způsobuje fázové posun proudu vůči fázovému napětí o  $\pm 30^\circ$ . Aby se předešlo nesouměrnému zatížení distribuční soustavy jsou jednotlivé úseky napájeny z různých fází a v trakční napájecí stanici je využíváno (pokud to je možné) dvou transformátorů, které jsou připojeny na 1. a 2. fázi a na 2. a 3. fázi. Úseky mezi dvěma trakčními napájecími stanicemi, které jsou od sebe vzdáleny přibližně 60 km, jsou přibližně v polovině (po 30 km) překlenuty spínacími stanicemi, kde je krátký úsek bez napájení. Pokud se vlak k tomuto úseku přiblíží, sníží výkon a úsek setrvačností přejede (dříve byl i stahován sběrač). Úsek mezi dvěma napájecími stanicemi je provozován v různých kombinacích stavů spínačů, nejčastější je:

- a) podélně sepnutými a příčně vypnutými spínači,
- b) podélně i příčně vypnutými spínači.

Nikdy není provozováno paralelní spojení trolejí jak ve spínacích, tak v protějších trakčních napájecích stanicích. Při výpočtu nastavení distanční ochrany bylo vycházeno z varianty b. Zpětným vodičem v trakčním napájecím systému bývá u kolejových drah pojížděná kolejnice. Pro odpor kolejnicového vedení platí:

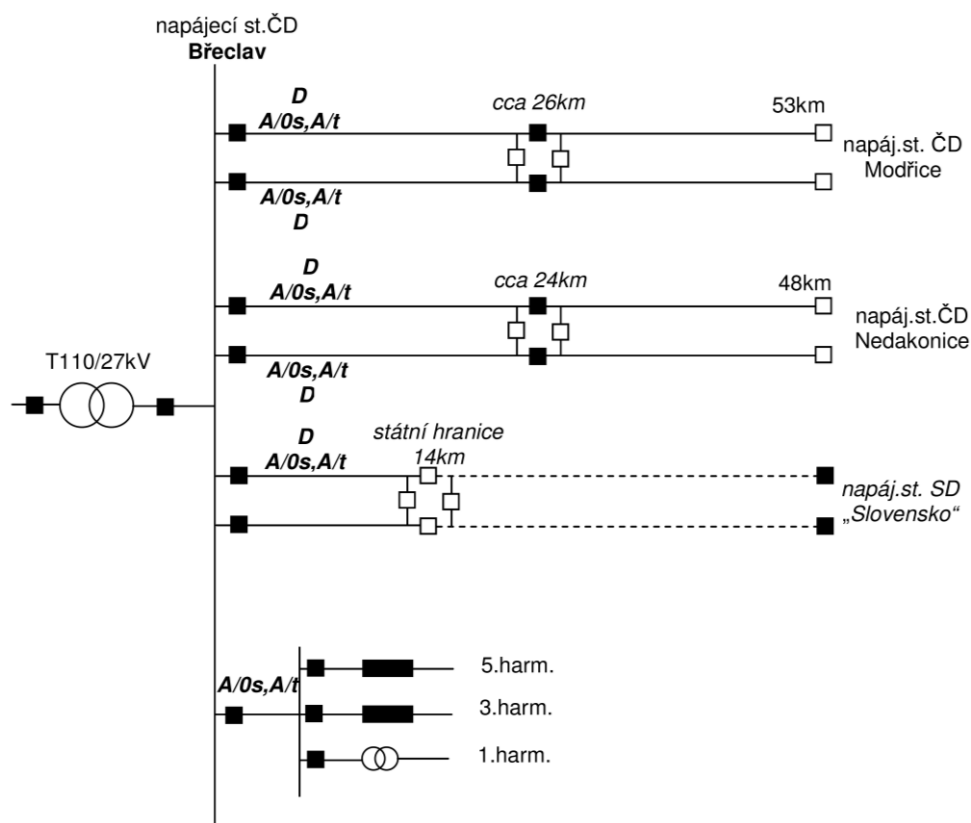
$$R = \frac{r}{S} = \frac{r \cdot \gamma \cdot l}{1000 \cdot q} \quad [\Omega/km]$$

kde:

- $r$  – měrný odpor oceli [ $\Omega/km \cdot mm^2$ ],
- $S$  – průřez kolejnice [ $mm^2$ ],

- $\gamma$  – hustota oceli [kg/km/mm<sup>2</sup>],
- $l$  – délka vedení [m],
- $q$  – hmotnost kolejnice na 1 m délky [kg/m].

Do budoucna se uvažuje o zavedení 3 fázové usměrňovače a 1 fázového střídače, při tomto řešení by odpadl problém nesymetrického zatížení sítě. Uvažuje se o 50 MW střídačích. Nicméně toto řešení je o dost náročnější (jak technologicky tak na opravu/údržbu) a nezvládne takovou přetížitelnost jako transformátor, což by mohl být problém pokud by například celý úsek vedení postihl výpadek, všechny vlaky v daném úseku se zastavili a po obnovení napájení se začali rozjíždět. V tomto případě by při rozjezdu větší skupiny vznikl veliký proudový odběr a střídač by jej nemusel zvládnout a opět by daný úsek odpojil od napájení. [9], [10]





Obr. 18 Napájení a provoz trakční sítě v napájecí stanici Břeclav.

## 4 Nastavení a měření distanční ochrany pro drážní aplikace

### 4.1 Výpočet nastavení

Při výpočtu bylo vycházeno ze Služební rukověti SR 34 (E) [14], kde jsou uvedeny impedance trakčního vedení Tabulka 3. Pro výpočet byla zvolena jednokolejová trať, jejíž impedance je  $0,34 + 0,61j \Omega / km$ , tato hodnota platí pro lano 100 Cu + 70 AlFe. Nastavení bylo prováděno pro úsek v délce 40 km se spínací stanicí po 25 km, 1. zóna dosahuje do spínací stanice s přesahem 15 % do následujícího vedení a 2. zóna pokrývá následující vedení s přesahem 20 % do následujícího vedení. Automatika opětného zapínání byla aplikována pouze na 1. zónu.

Tabulka 3 Hodnoty impedancí pro průběžnou trať se stanicemi. Převzato z [14].

Typ trati	Tok proudu	Impedance pro 100 Cu + 70 AlFe [ $\Omega / km$ ]
Jedno kolejové		$0,34 + 0,61j$
Dvou kolejové (druhá stopa bez proudu)		$0,33 + 0,55j$

Impedance 1.zóny:

$$\overline{Z}_1 = 1,15 \cdot 25 \cdot (0,34 + 0,61j) = 9,775 + 17,538j \Omega / km \quad (4.1)$$

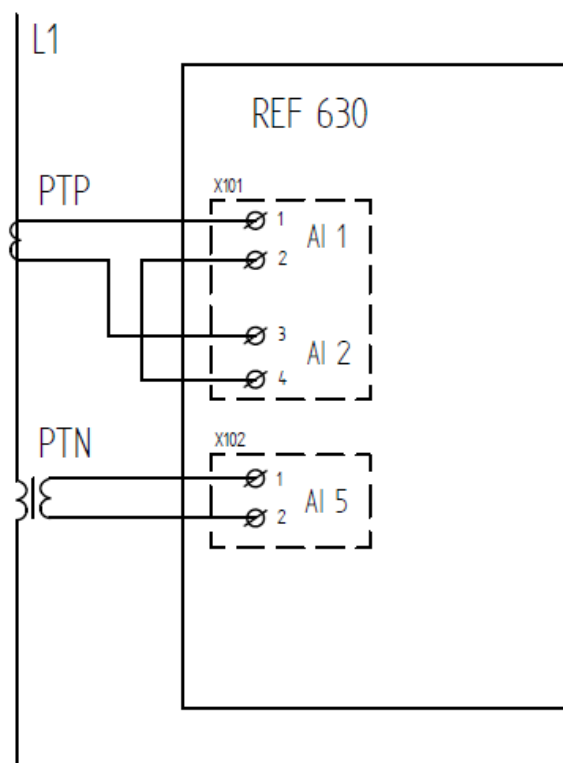
Impedance 2. zóny:

$$\overline{Z}_2 = 1,2 \cdot (25 + 15) \cdot (0,34 + 0,61j) = 16,32 + 29,28 \Omega / km \quad (4.2)$$

Pro aplikování distanční ochrany na jednofázovou trakční síť jsou možné dvě zapojení a to zapojení pro mezifázové a zemní poruchy. Při zapojení pro mezifázové poruchy se signál z PTP přivede na dva proudové vstupy ochrany AI1 a AI2 Obr. 19. Aby ochrana fungovala korektně při mezifázovém zapojení, musí se do nastavení zadávat poloviční hodnoty než které vyšli z rovnic (4.1) a (4.2). Důvod zadávání polovičních hodnot vychází z rovnic v kapitole 4.1.1. Ochrana při tomto nastavení pracuje spolehlivě, ale s menší přesností lokátoru poruch. U zapojení pro zemní poruchy se výstup z PTP zapojuje přímo do

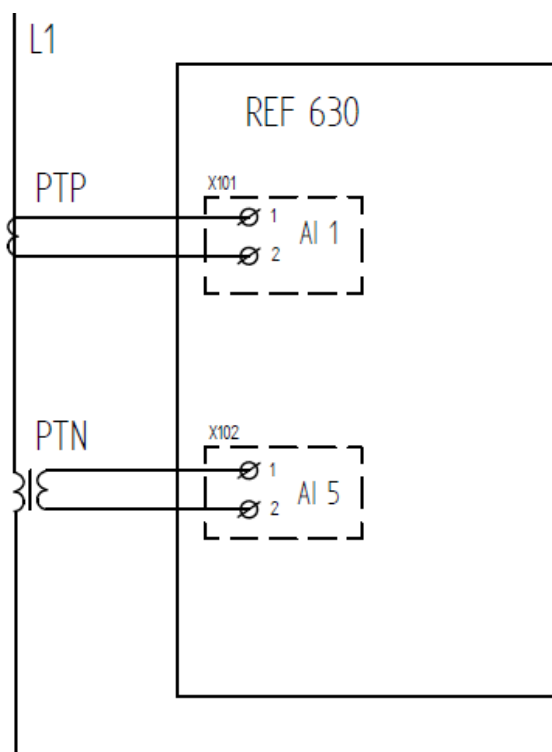
proudového vstupu ochrany, do nastavení ochrany se zadávají celé hodnoty. Toto zapojení nefunguje spolehlivě okolo počátku, velmi blízký zkrat, v impedanční charakteristice. Po konzultaci se zaměstnanci firmy ABB, bylo usouzeno, že kvůli spolehlivosti bude zvoleno mezifázové zapojení.

V Příloha C je k nalezení přehledové schéma TNS Strakonice, zde by distanční ochrana byla připojena na proudový transformátor J1 a na napěťový transformátor TVS2. [14]



Obr. 19 Typové schéma zapojení ochrany pro mezifázové poruchy.

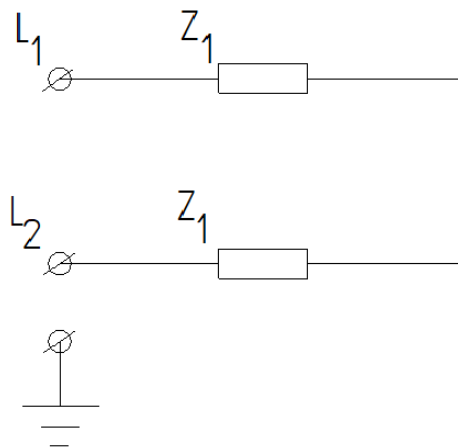




Obr. 20 Typové schéma zapojení ochrany pro zemní poruchy.

#### 4.1.1 Výpočet poruchové impedance při mezifázovém zapojení distanční ochrany pro drážní aplikace

Rovnice pro výpočet poruchové impedance při mezifázovém zapojení distanční ochrany vychází z druhého Kirchhoffova zákona, který říká, že součet napětí na všech prvcích podél uzavřené smyčky je v každém okamžiku roven nuly. Vycházíme z předpokladu  $I_{L1} = -I_{L2}$  a  $U_{L2} = 0$ . Poté jednoduchou matematickou úpravou lze vyjádřit impedanci  $Z_1$ . Ve jmenovateli rovnice (4.7), můžeme vidět matematické odůvodnění proč do nastavení ochrany musíme zadávat poloviční hodnoty než které nám vyšli.



Obr. 21 Výchozí mezifázové zapojení pro výpočet nastavení.

$$\overline{I_{L1}} = -\overline{I_{L2}} \quad (4.3)$$

$$\overline{U_{L1}} - \overline{U_{L2}} = \overline{Z_1} \cdot \overline{I_{L1}} - \overline{Z_1} \cdot \overline{I_{L2}} \quad (4.4)$$

$$\overline{Z_1} = \frac{\overline{U_{L1}} - \overline{U_{L2}}}{\overline{I_{L1}} - \overline{I_{L2}}} \quad (4.5)$$

$$\overline{U_{L2}} = 0 \quad (4.6)$$

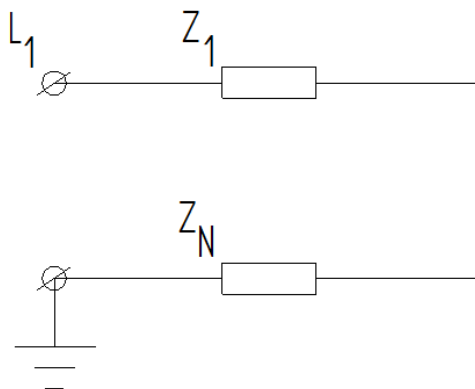
$$\overline{Z_1} = \frac{\overline{U_{L1}}}{2 \cdot \overline{I_{L1}}} \quad (4.7)$$

Kde:

- $I_L$  – fázový proud,
- $U_L$  – fázové napětí,
- $Z_I$  – měřená impedance vedení.

#### 4.1.2 Výpočet poruchové impedance při zemním zapojení distanční ochrany pro drážní aplikace

Rovnice pro výpočet poruchové impedance při zemním zapojení distanční ochrany vychází z druhého Kirchhoffova zákona, který říká, že součet napětí na všech prvcích podél uzavřené smyčky je v každém okamžiku roven nuly. Je zaveden zemní faktor  $K$ , který reprezentuje impedanci země při jednofázových poruchách. Předpokládáme, že  $K = 0$ . Poté jednoduchou matematickou rovnicí vyjdeme k výslednému vztahu (4.15).



Obr. 22 Výchozí mezifázové zapojení pro výpočet nastavení.

$$\overline{U_{L1}} = \overline{Z_1} \cdot \overline{I_{L1}} - \overline{Z_N} \cdot \overline{I_N} \quad (4.8)$$

$$\overline{K} = \frac{\overline{Z_N}}{\overline{Z_1}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\overline{Z_{0k}} - \overline{Z_{1k}}}{\overline{Z_{1k}}} \quad (4.9)$$

$$U_{L1} = \overline{Z_1} \cdot \overline{I_{L1}} - \overline{K} \cdot \overline{Z_1} \cdot \overline{I_N} \quad (4.10)$$

$$\overline{Z_1} = \frac{\overline{U_{L1}}}{\overline{I_{L1}} - \overline{K} \cdot \overline{I_N}} \quad (4.11)$$

$$\overline{I_{L1}} = -\overline{I_N} \quad (4.12)$$

$$\overline{Z_1} = \frac{\overline{U_{L1}}}{\overline{I_{L1}} \cdot (1 + \overline{K})} \quad (4.13)$$

$$\overline{K} = 0 \quad (4.14)$$

$$\overline{Z_1} = \frac{\overline{U_{L1}}}{\overline{I_{L1}}} \quad (4.15)$$

Kde:

- $I_L$  – fázový proud,
- $I_N$  – proud protékající zemní cestou,
- $U_L$  – fázové napětí,
- $Z_I$  – měřená impedance vedení,
- $Z_N$  – impedance zemní cesty,
- $K$  – zemní faktor,
- $Z_{0K}$  – zpětná impedance,
- $Z_{1K}$  – sousledná impedance.

## 4.2 Nastavení ochrany za pomoci programu PCM600

Program *PCM600* poskytuje všestranné funkce pro ochrany a řídicích IED v distribučních a přenosových aplikacích. S jednotlivými nástroji programu lze provádět různé úkoly, funkce (plánování, uvádění do provozu, funkční analýza atd.). *PCM600* je v souladu s normou IEC 61850, což zjednodušuje práci s programem i výměnu informací s dalšími nástroji, které též této normě vyhovují.

Tabulka 4 Seznam nástrojů programu PCM600

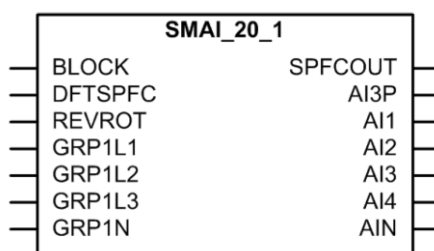
Nástroj	Popis
<i>Project Explorer</i>	Je užíván pro navigaci, import a export konfigurací a k přístupu dalším nástrojům.
<i>(Graphical) Application Configuration</i>	Je užíván ke grafické konfiguraci IED. Definuje se zde jak má IED fungovat.
<i>Parameter Setting</i>	Je užíván pro nastavení IED a prohlížení jednotlivých nastavení.
<i>Signal Monitoring</i>	Je užíván pro online monitorování měřených veličin, stav BI/BO a pro uvedení do provozu a testování fyzických připojení.
<i>Signal Matrix</i>	Je užíván pro vytvoření spojení mezi zdrojovým a cílovým objektem v konfiguraci IED.
<i>Disturbance Handling</i>	Je užíván pro vyčtení zápisů poruch z IED a pro jejich prohlížení, uložení dat do počítače, zpracování dat a vytváření zpráv z poruch.
<i>Event Viewer</i>	Je užíván pro zobrazení zápisů, které jsou uloženy v IED.
<i>Graphical Display Editor</i>	Je užíván pro konfiguraci grafického displeje IED.

#### 4.2.1 Application Configuration

Nástroj *Application Configuration* najdete v okně *Project Explorer*, kde si pravým kliknutím na zvolenou a zvolením *Application Configuration* si zvolíte otevření tohoto nástroje (v případě, že užíváte projekt dodaný k této práci je cesta ve stromu v *Project Explorer* následující *REF630v1 – Substation – Voltage Level – Bay – REF630\_mezifaz*). Jednotlivé funkční bloky lze snadno umisťovat do předpřipravených listů, určovat jim vstupy a propojovat je mezi sebou na daném listě nebo skrze proměnné mezi listy. V nástroji

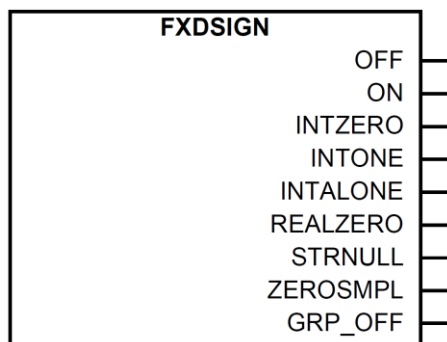
Application Configuration můžete naprogramovat ochranu v grafickém rozhraní, to je rozdělené na 4 záložky *Signals*, *Protection*, *Meas\_And\_Rec* a *Alarms*. Funkční bloky naleznete v levém postranním panelu *Object Types* odkud je lze za pomoci drag and drop lze přenést do okna *Application Configuration*. K jednotlivým vstupům/výstupům funkčních bloků lze přiřazovat proměnné za pomoci klávesové zkratky CTRL+SHIFT+N, po označení konkrétního vstupu/výstupu funkčního bloku. Pro nastavení ochrany bylo použito těchto funkčních bloků:

- *SMAI\_20* – tento funkční blok slouží pro zpracování analogových signálů a jeho výstupem je například RMS hodnota, fázový posun, frekvence a harmonické složky. K tomuto bloku byli připojeny vstupy z proudových i napěťových kanálů a bylo využito výstupů *AI3P* (jehož výstupem jsou informace o všech čtyřech vstupech, pokud jsou zapojeny) a *AII / AI2* (jehož výstupem jsou informace o konkrétním kanálu, prvním / druhém).



Obr. 23 Funkční blok *SMAI\_20*. Převzato z [3].

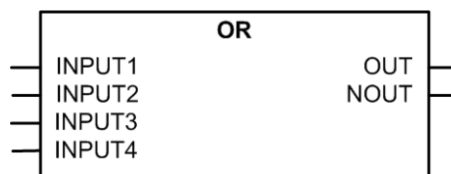
- *FXDSIGN* – tento funkční blok se skládá pouze z výstupů a generuje různé signály. Tyto signály jsou *OFF* (logická 0), *ON* (logická 1), *INTZERO / INTONE* (0 / 1 v datovém typu integer) a *GRP\_OFF* (skupina signálů nastavená na 0).



Obr. 24 Funkční blok *FXDSIGN*. Převzato z [3].

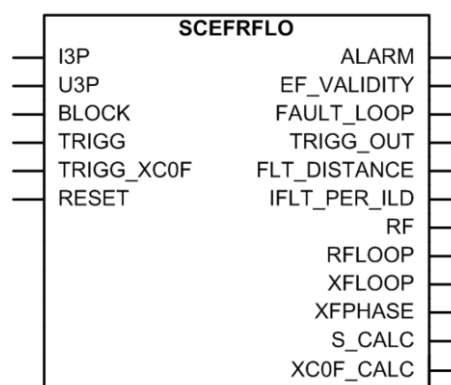
- *DSTPDIS* – více v kapitole 4.2.1.1 *DSTPDIS*.

- **OR** – je jedním ze standardních funkčních bloků s binárními vstupy i výstupy (z nichž jeden je negovaný). Má 4 vstupy, alternativou je funkční blok **OR20** s dvaceti binárními vstupy. V předkládané aplikaci dává povel k binárním výstupům, že ochrana zapůsobila.



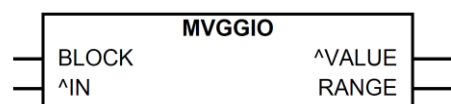
Obr. 25 Funkční blok OR. Převzato z [3].

- **SCEFRFLO** – je funkční blok lokátoru poruch. Jeho vstupem jsou signály z bloku **SMAI20**, konkrétně z výstupu **AI3P** které dodají informace o napětí i proudu. Tento blok reaguje na log. 1 na vstupu **TRIGG**. Výstup, který je užíván je **FLT\_DISTANCE** jenž udává vzdálenost poruchy v jednotkách zvolených uživatelem v nastavení tohoto bloku.



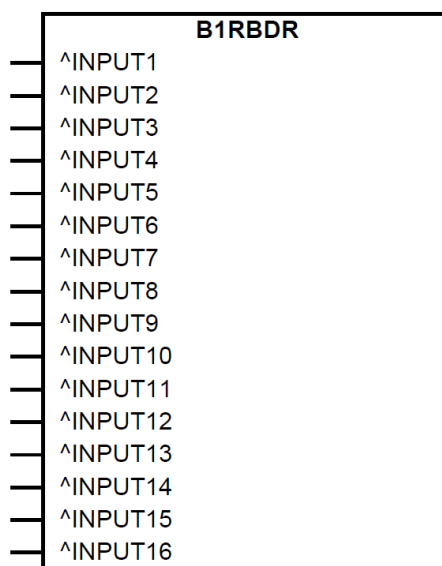
Obr. 26 Funkční blok SCEFRFLO. Převzato z [3].

- **MVGGIO** – je funkční blok sloužící pro komunikaci s dalšími zařízeními na základě normy IEC 61850. Vstupem bloku je údaj o vzdálenosti poruchy z lokátoru poruch **SCERFRLO**.



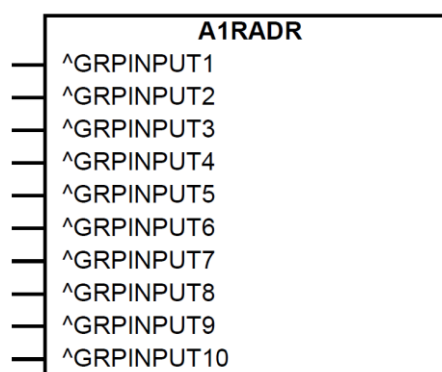
Obr. 27 Funkční blok MVGGIO. Převzato z [3].

- **BIRBDR** – je funkční blok sloužící pro tvorbu poruchových záznamů, reprezentuje binární signály v poruchovém zápisu. Každý binární signál umožňuje rozsvěcovat diody ready (v pořádku), start (popud) a trip (vypnutí).



Obr. 28 Funkční blok B1RBDR. Převzato z [3].

- *AIRADR* – je funkční blok sloužící pro tvorbu poruchových záznamů, reprezentuje analogové signály v poruchovém zápisu. V této aplikaci je určen pro čtení jednotlivých proudů a napětí z bloku SMAI20, konkrétně z výstupu *A11 / A12*.



Obr. 29 Funkční blok A1RADR. Převzato z [3].

#### 4.2.1.1 DSTPDIS

DSTPDIS je funkční blok distanční ochrany. Obsahuje tři konfigurovatelné impedanční zóny ( $Z1$ ,  $Z2$  a  $Z3$ ) a dvě zóny pro opětovné zapnutí ( $ZAR1$  a  $ZAR2$ ). Podporované tvary impedančních charakteristik jsou vyobrazeny na Obr. 32, pro účely tyto práce byl využit tvar *Quadrilateral – Forward*. Funkční blok DSTPDIS má oddělené a nezávislé měření pro každou poruchovou smyčku v každé zóně.

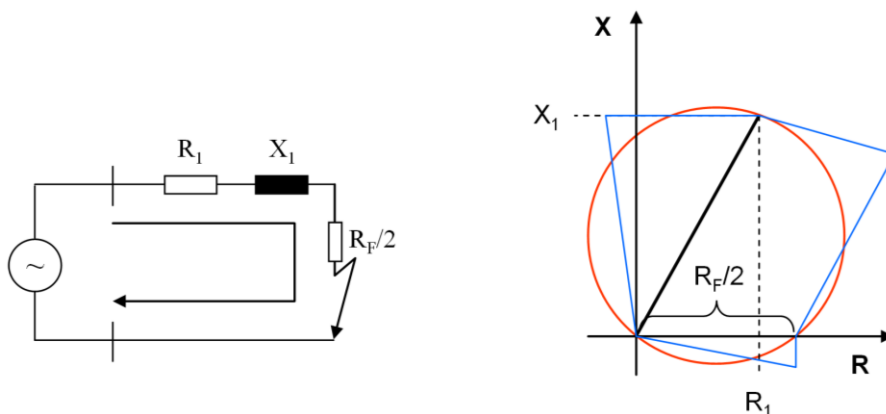
Měření impedance probíhá vždy stejným způsobem neohledě na to jaká impedance charakteristika je použita, kdy se nejprve vypočítá impedance poruchové smyčky a poté se až porovnává s hranicemi zóny. Minimální čas za který lze impedanci změřit je 40 až 50 ms.

Měření při mezifázovém zapojení je založeno na impedanci smyčky:

$$\overline{Z}_1 + \frac{R_F}{2} = R_1 + j \cdot X_1 + \frac{R_F}{2} \quad (4.16)$$

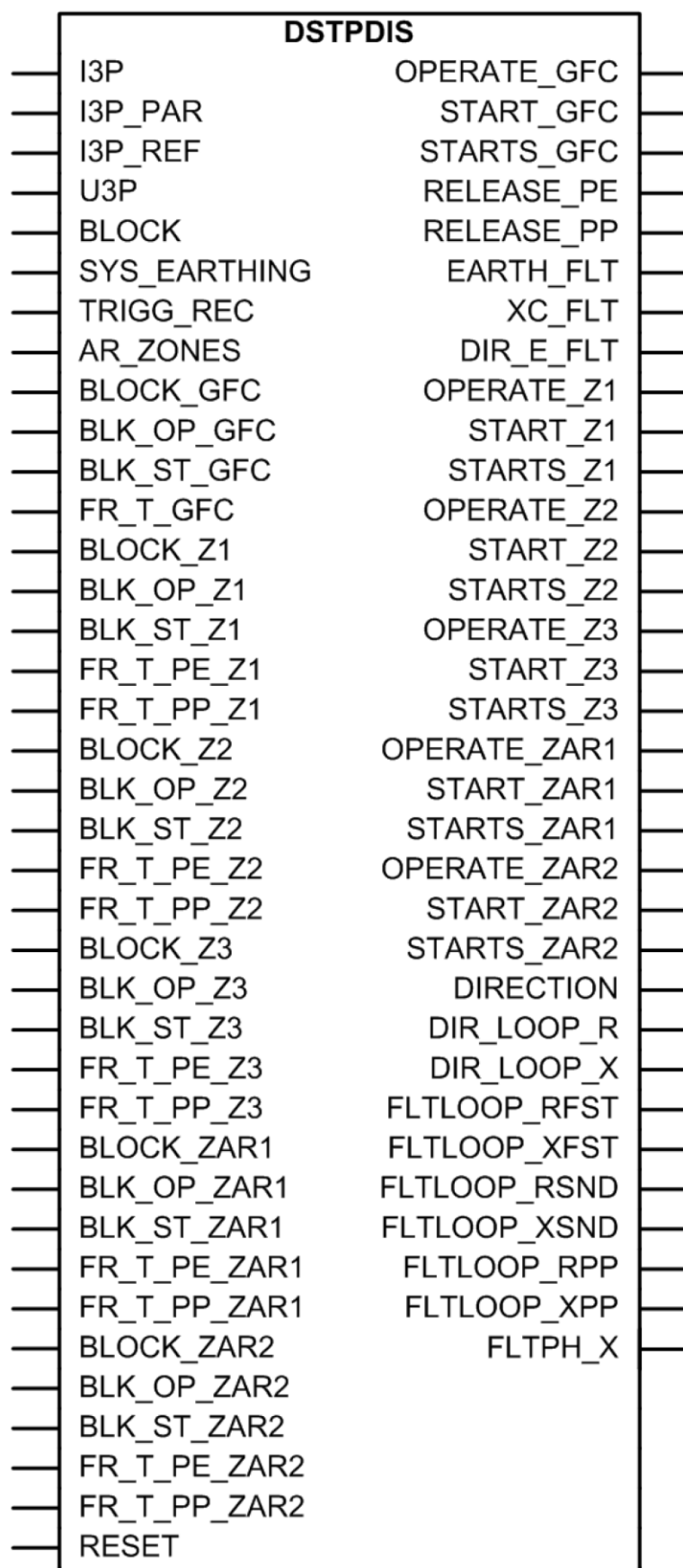
kde:

- $R_1$  – odpor úseku od místa měření k poruše,
- $X_1$  – reaktance úseku od místa měření k poruše,
- $R_F$  – odpor poruchy mezi fázemi, například odpor elektrického oblouku.



Obr. 30 Impedance smyčky pro mezifázové zapojení ochrany.





Obr. 31 Funkční blok DSTPDIS. Převzato z [3].

Impedance Chr Gnd Zn, Impedance Chr PP Zn	Directional mode Znx		
	Non-directional	Forward	Reverse
Quadrilateral			
Mho (circular)			
Mho dir line			
Offset dir line			
Bullet (combi)			

**Pol. = polarization method affects (mho)zone shape**

Obr. 32 Možné kombinace impedančních zón. Převzato z [3].

#### 4.2.2 Parameter Settings

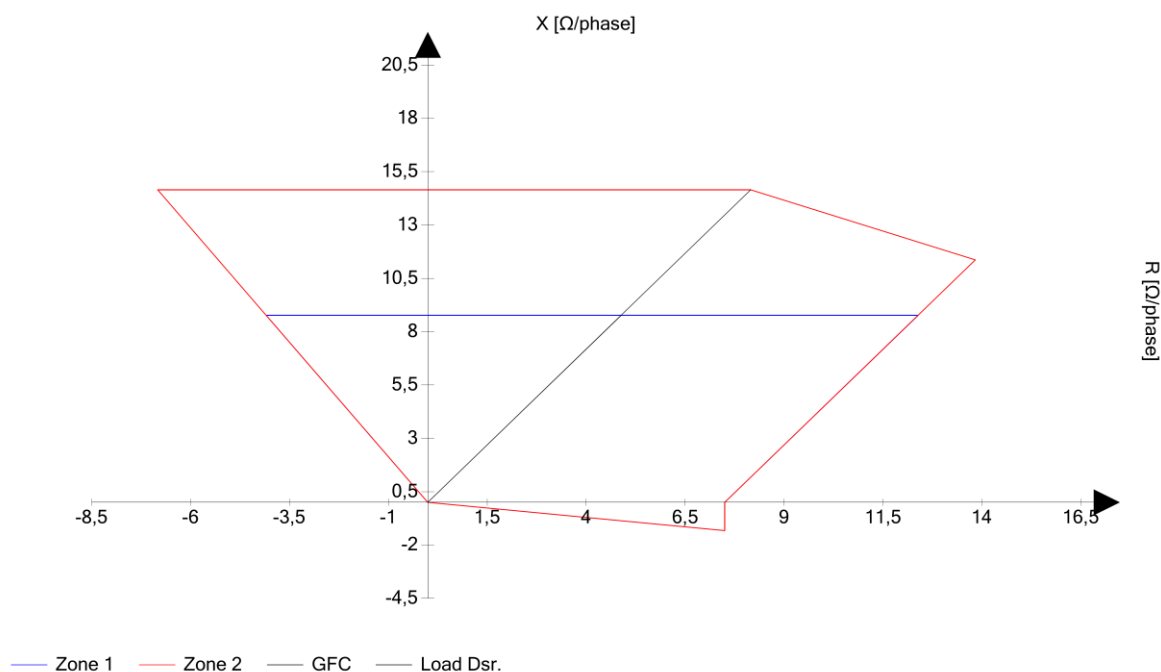
Do nástroje *Parameter Settings* se lze dostat obdobně jako do nástroje *Application Configuration*. V tomto nástroji je k nalezení veškeré nastavení ochrany a všech použitých funkčních bloků.

V následujících tabulkách jsou k nalezení parametry, které vycházejí z výpočtu nastavení. Při nastavování ochrany je zapotřebí nastavit převody přístrojových transformátorů proudů a napětí. Dále je nutné určit minimální provozní impedanci, ta byla určena za pomoci Ohmova zákona pokud víme, že největší možný proud je 750 A. Impedance 1. zóny je určena vzdáleností spínací stanice, tato impedance byla určena v kapitole 4.1 Výpočet nastavení. Ne vždy je zkrat čistě kovový, proto je zapotřebí počítat s odporem poruchy, který byl zvolen 15  $\Omega$ .

Tabulka 5 Nastavení parametrů, které vycházejí z výpočtu nastavení pro distanční ochranu.

Parametr	Hodnota	Jednotky	Popis
CTsec	1	A	Výstupní proud PTP
CTprim	600	A	Vstupní proud PTP
VTsec	100	V	Výstupní napětí PTN
VTprim	27	kV	Vstupní napětí PTN
X PP Fwd reach GFC	50	$\Omega$	Dopředný dosah popudové pro mezifázové poruchy
X PP rv reach GFC	50	$\Omega$	Zpětný dosah popudové zóny pro mezifázové poruchy
Resistive PP Rch GFC	50	$\Omega$	Odpor poruchy
Ris reach load GFC	28	$\Omega$	Odpor výkroje zátěže
Angle load area GFC	30	$^{\circ}$	Úhel výkroje zátěže
Z Max Ph load GFC	32,4	$\Omega$	Minimální provozní impedance
R1 zone 1	4,89	$\Omega$	Odpor 1. zóny
X1 zone 1	8,77	$\Omega$	Reaktance 1. zóny
X1 reverse zone 1	8,77	$\Omega$	Reaktance 1. zóny v zpětném směru
Min Ris PP Rch Zn1	7,5	$\Omega$	Minimální odpor poruchy v 1.zóně
Max Ris PP Rch Zn1	7,5	$\Omega$	Maximální odpor poruchy v 1. Zóně
PP operate delay	0,04	s	Zpoždění ochrany v 1.zóně
Factor K0 zone 1	1	-	Zemní faktor v 1. zóně
R1 zone 2	8,16	$\Omega$	Odpor 2. zóny
X1 zone 2	14,64	$\Omega$	Reaktance 2. zóny

X1 reverse zone 2	14,64	$\Omega$	Reaktance 2. zóny v zpětném směru
Min Ris PP Rch	7,5	$\Omega$	Minimální odpor poruchy
Max Ris PP Rch	7,5	$\Omega$	Maximální odpor poruchy
PP operate delay Zn2	0,5	s	Zpoždění ochrany v 2. zóně
R1 line section A	0,155	$\Omega / \text{km}$	Zkratový odpor vedení na jednotku délky
X1 line section A	0,305	$\Omega / \text{km}$	Zkratová reaktance vedení na jednotku délky
R0 line section A	1,465	$\Omega / \text{km}$	Zkratový odpor vedení na jednotku délky
X0 line section A	0,915	$\Omega / \text{km}$	Zkratová reaktance vedení na jednotku délky
Line Len section A	40	km	Délka vedení



Obr. 33 Impedanční charakteristika, která vychází z nastavení v programu PCM600.

### 4.3 Testovací zařízení OMICRON CMC 353

Omicron CMC 353 je přenosné testovací zařízení určené pro testování ochranných relé, převodníků, elektroměrů, přístrojů na analýzu kvality elektrické energie. Zastává funkci jak proudového tak napěťového zdroje s regulací a s možností změny frekvenci i fázového posunu. Má tři proudové výstupy (3 x 32 A, maximální dodávaný výkon na každý výstup je 430 VA) a čtyři napěťové výstupy (4 x 300 V). Nastavení fázového posuvu je možné v rozsahu  $-360^\circ$  až  $360^\circ$  s přesností  $0,001^\circ$ . Signál se pro každou fázi generuje samostatně. Kromě testovacích funkcí obsahuje také měřící funkce a to za pomoci deseti analogových vstupů v pěti galvanicky oddělených skupinách.

Na testování ochran a dalších zařízení má Omicron CMC 353 vyčleněné různé testovací moduly, které můžeme dále nastavovat podle toho, co potřebujeme. Software Test Universe slouží jako rozcestník a již vzpomínané testovací moduly, zkušební nástroje a veškerou potřebnou dokumentaci k veškerým funkcím (manuály, tipy a další aplikace pro uživatelskou podporu). *Test Universe* byl užíván ve verzi 3.20 a v anglickém jazyce, program obsahuje češtinu ale všechny fráze nejsou přeloženy, proto když zde budou popisovány funkce tohoto programu budu názvy těchto funkcí udávat v anglickém jazyce. V menu lze vyvolat nápovědu za pomoci stisknutí pravého tlačítka myši na odkazu k požadované funkci. Pro potřeby této diplomové práce byly použity modul *QuickCMC*, který umožňuje manuální nastavení všech potřebných veličin, a modul *Distance*, který umožňuje pokročilé testování impedanční charakteristiky distanční ochrany. [12]

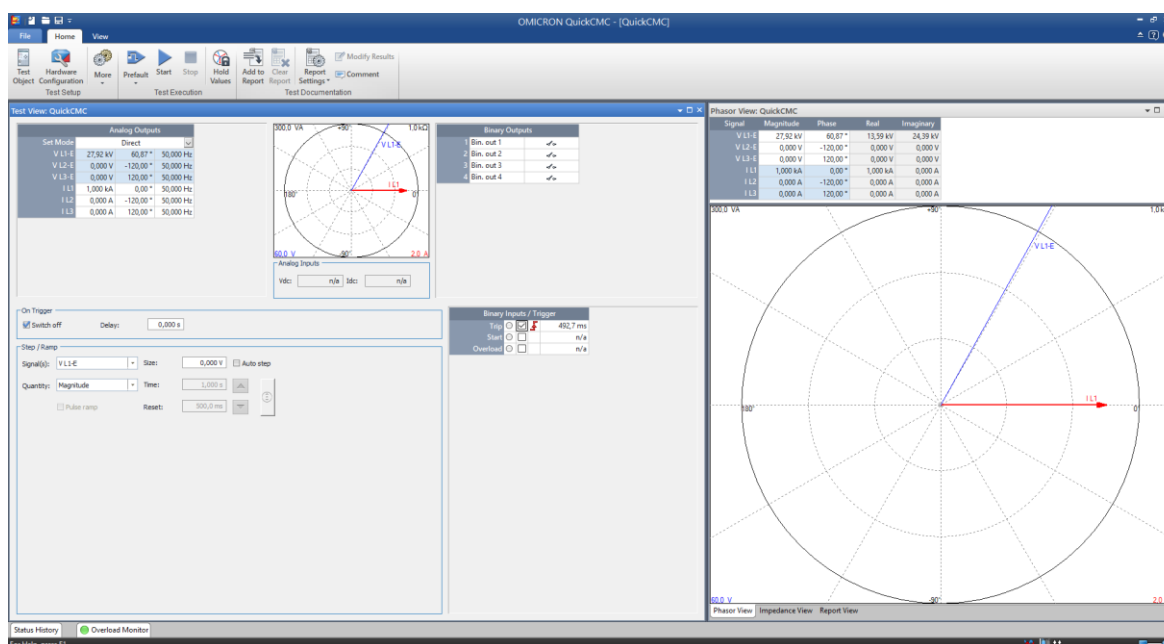


Obr. 34 Testovací zařízení OMICRON CMC 353. Převzato z [12].

### 4.3.1 Modul QuickCMC

Modul *QuickCMC* je nejjednodušší na nastavení a používání, je určený spíše pro manuální testování a požadované veličiny musíte dosazovat manuálně. Hodnoty lze zadávat v primárních veličinách nebo v sekundárních veličinách, při zadávání v sekundárních veličinách je zapotřebí správně nastavit převody přístrojových transformátorů. Důležité je mít zapnutou funkci *Switch off*, kterou lze najít pod *On Trigger* na hlavní obrazovce modulu *QuickCMC*. V opačném případě ochrana by sice dala povel k vypnutí, testovací zařízení zaznamená vypínací čas, ale zůstane dál v provozu.

Na Obr. 35 můžeme vidět modul *QuickCMC*, hodnoty jenž jsou nastaveny jsou vypočítány pro poruchu na 40 km. Lze vidět, že hodnoty byli zadávány v primárních veličinách (direct), bylo zadáno fázové napětí (L1 - E). V pravé části můžeme spatřit fázorový diagram, pro lepší představu velikosti a fázového posunu veličin. V tabulce *Binary Inputs / Trigger* lze vidět vypínací čas (*Trip*), který pro tuto poruchu byl 492,7 ms. Což odpovídá vypínacímu času 2. zóny, který je nastaven na 500 ms. Více v dalších kapitolách. [12]



Obr. 35 Modul *QuickCMC*, nastaveny hodnoty pro poruchu na 40. km.

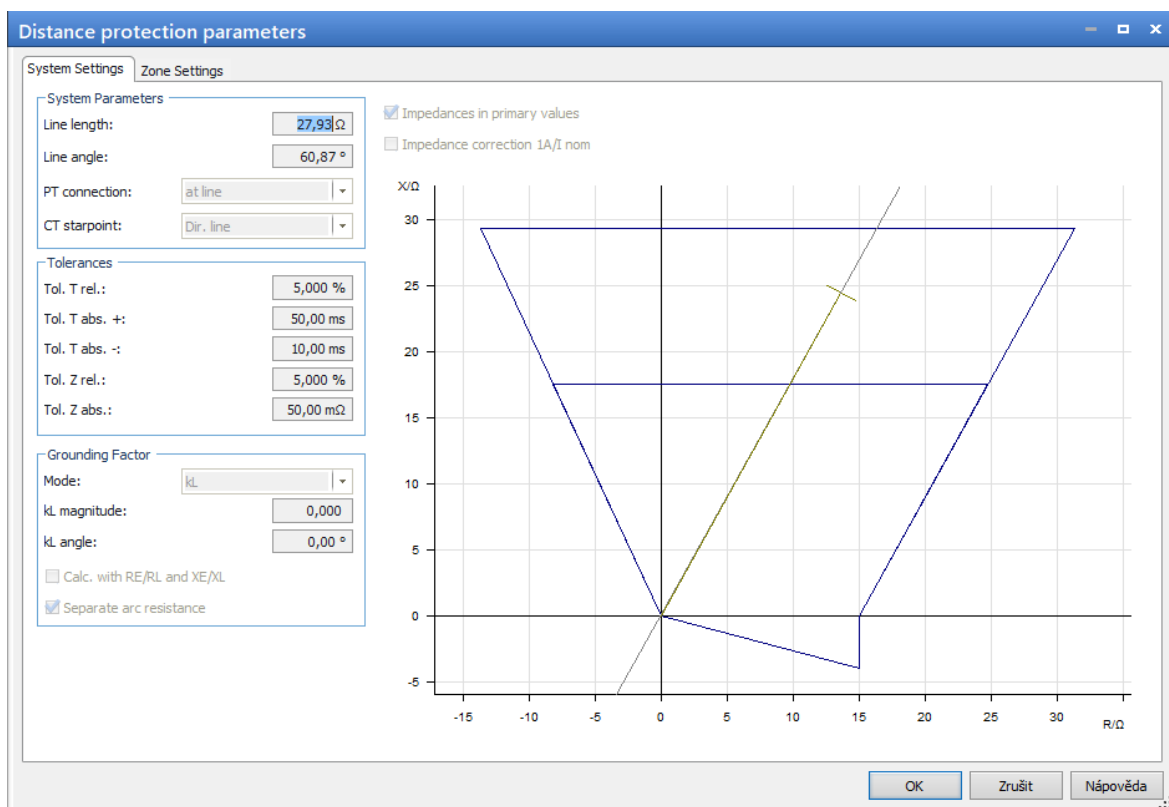
### 4.3.2 Modul Distance

Tento modul je určen pro testování distančních ochrany a obsahuje dva pod moduly *Distance* a *Advanced Distance*, pro tvorbu této práce byl používán modul *Advanced distance*, kde lze snadno nastavit zkoušenou impedanční charakteristiky a následně otestovat

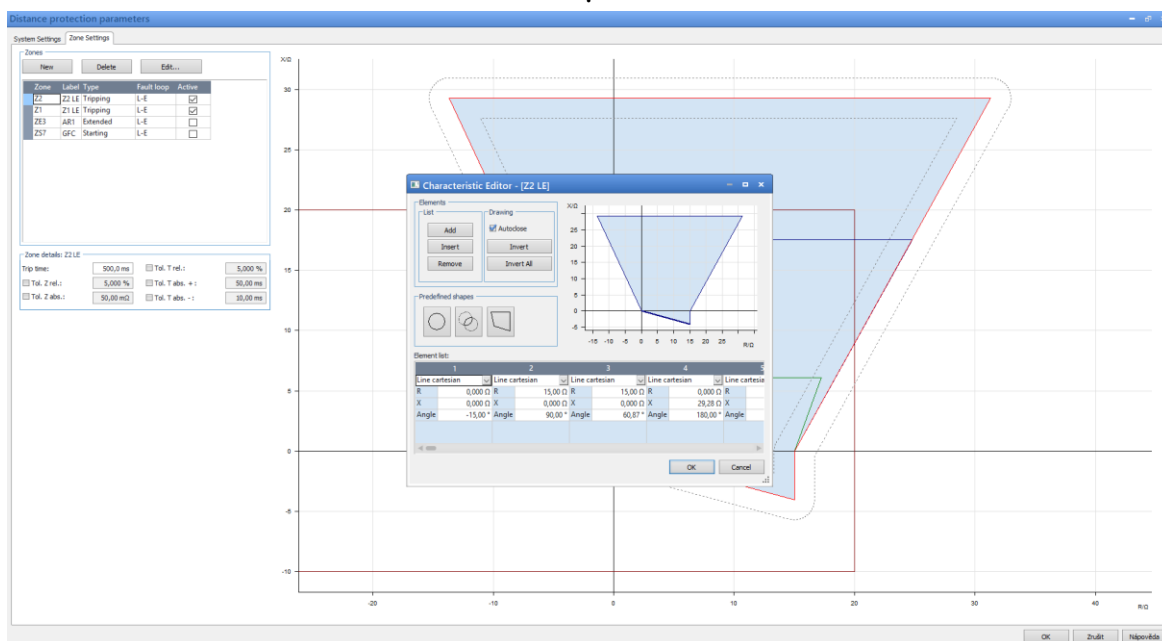
jak stavy kdy ochrana má vypnout, tak stavy kdy ochrana nemá vypnout. Pro toto testování jsou předpřipravené tři testovací programy:

- *Shot Test*,
- *Check Test*,
- *Search Test*.

Před samostatným testováním musíme nastavit impedanční charakteristiku (R - X), která bude testována. Toto nastavení je k nalezení v *Home – Test Object – Distance – Edit*. Nastavení lze vidět na Obr. 36, v záložce *System Settings* lze nastavit toleranci jak v čase tak i v impedanci (tolerance nastavená v Obr. 36 je 5 %), také je zde možno nastavit impedanci vedení. V záložce *Zone Settings* lze nastavit každou zónu zvlášť a přiřadit jí konkrétní vypínací čas, zvolit si tvar charakteristiky, zvolit si jednotlivé body které budou charakteristiku definovat a zda je zapnut OZ (*Autoclose*) či ne. [12]



Obr. 36 Ukázka nastavení impedanční charakteristiky v modulu Advanced Distance

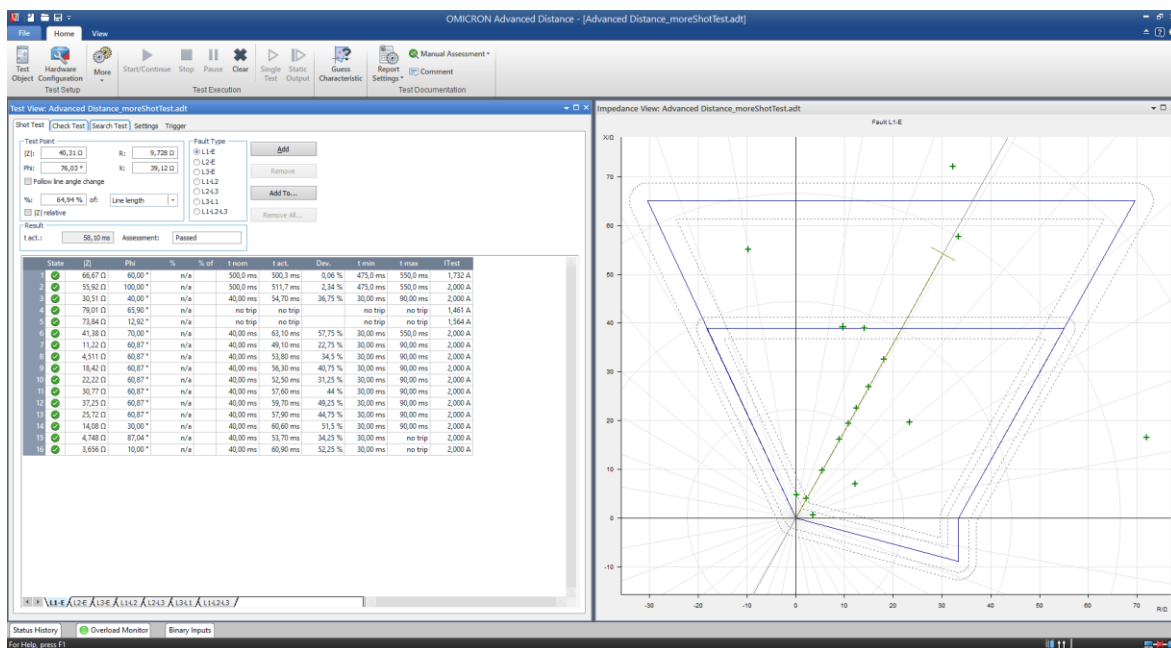


Obr. 37 Nastavení jednotlivých zón pro testování v modulu Advanced Distance.

#### 4.3.2.1 Shot Test

Funkce *Shot Test* pro testování distanční ochrany „střílí“ do definovaných míst impedanční charakteristiky, tyto testovací body lze vidět v pravé polovině. Tyto testovací body si lze načíst z uloženého souboru nebo si je může uživatel sám nadefinovat za pomoci kurzoru myši do impedanční charakteristiky. Můžeme si všimnout, že většina testovacích bodů byla zvolena okolo počátku, impedance vedení a pár jich bylo zvoleno i na rozhraní první a druhé zóny (tyto body byly umístěny v toleranční zóně) V levé polovině můžeme vidět jednotlivé testovací body, jejich impedanci a časy ve kterých ochrana dala povel k vypnutí. Náhled na funkci *Shot Test* je na Obr. 39. [12]

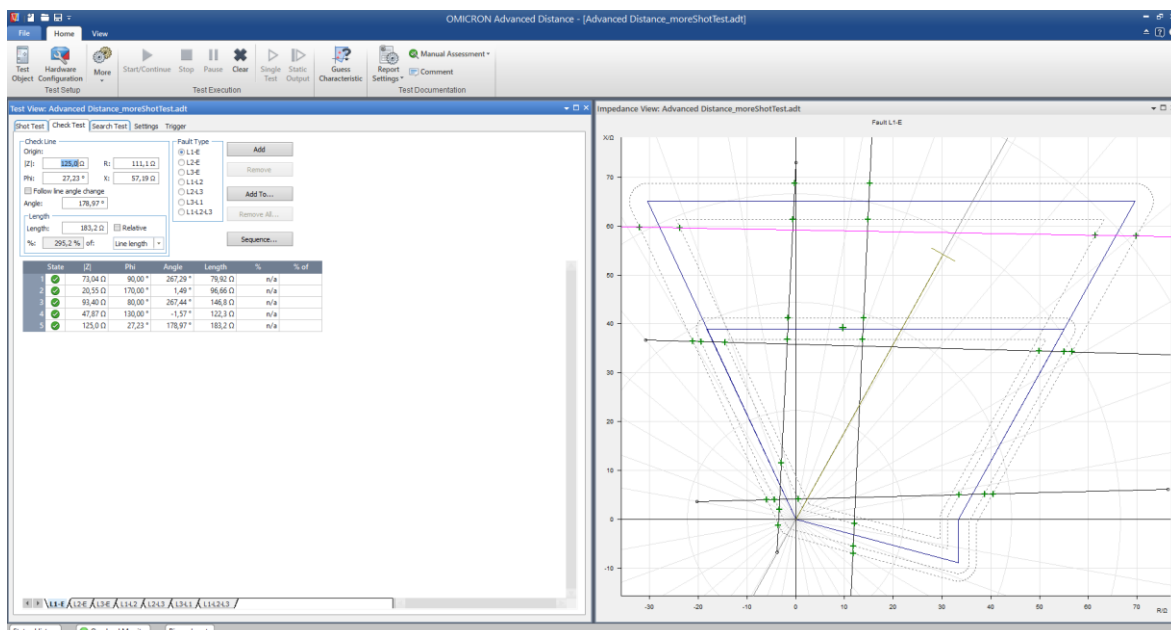




Obr. 38 Testování nastavení ochrany za pomoci nástroje Shot Test.

### 4.3.2.2 Check Test

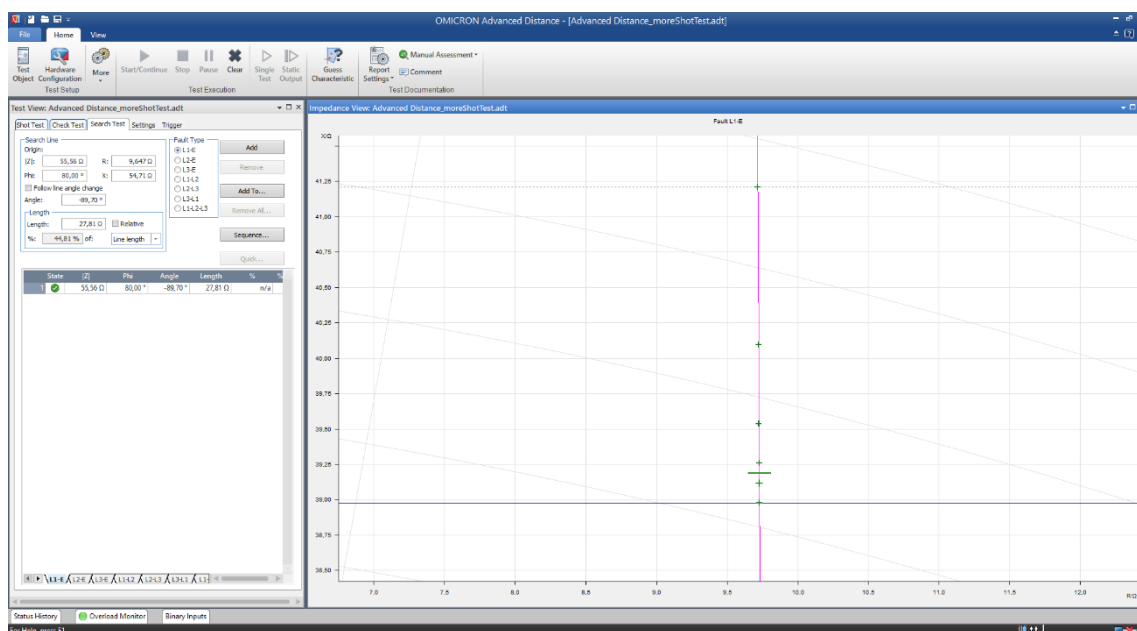
Funkce *Check Test* pracuje s přímkami nataženými přes impedanční charakteristiku, na této přímce se udělají testovací body na rozhraní tolerančních zón, proto je dobré přímku natáhnout tak aby protínala co nejvíce těchto míst. Následné testování automaticky otestuje všechny tyto body. Rozložení obrazovky zůstává identické jako u testovací funkce *Shot Test*. Náhled na funkci *Check Test* je na Obr. 39. [12]



Obr. 39 Testování nastavení ochrany za pomoci nástroje Check ITest.

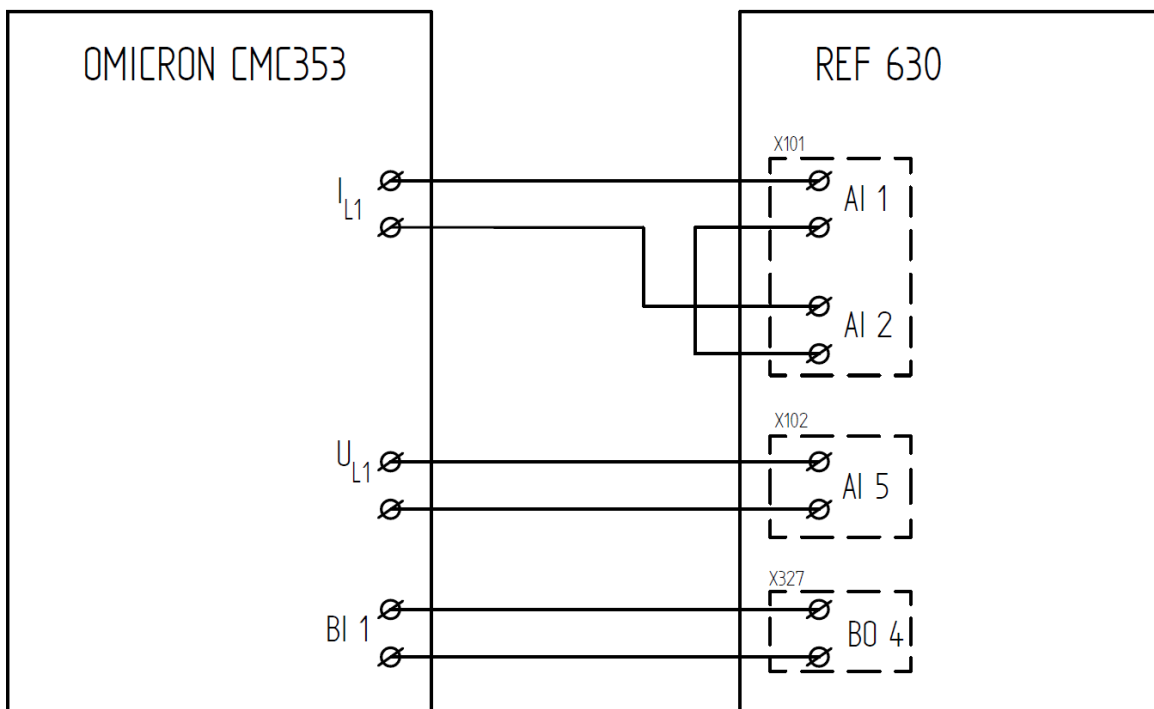
### 4.3.2.3 Search Test

Testovací funkce *Search Test* pracuje s přímkami, ale na rozdíl od testovací funkce *Check Test* nevytváří testovací body na rozhraní tolerančních zón. Na vytvořené přímce hledá metodou půlení intervalů v jakém bodě přesně ochrana vypne, lze vidět na Obr. 40. Pro nejpřesnější testování je za potřebí dělat přímky kolmo na impedanční charakteristiku. Tato testovací funkce nám ukáže skutečnou vypínací charakteristiku ochrany. [12]

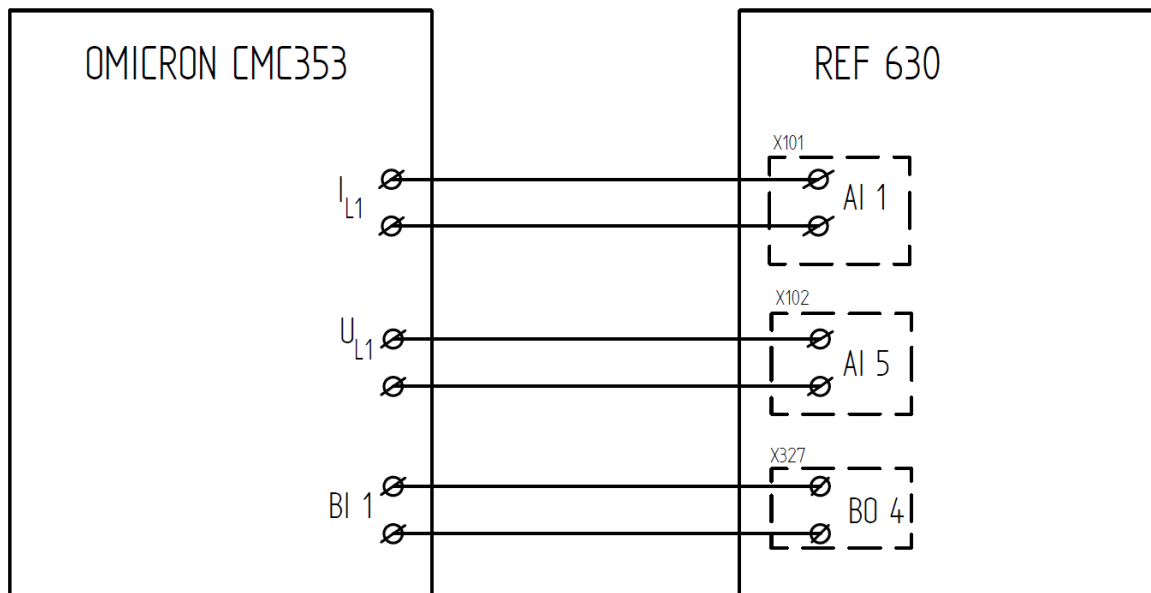


Obr. 40 Testování nastavení ochrany za pomoci nástroje *Search Test* s přiblížením na jeden testovaný úsek.

### 4.3.3 Testovací zapojení



Obr. 41 Schéma zapojení ochrany REF 630 a OMICRONU CMC 353 pro testování mezifázového zapojení.



Obr. 42 Schéma zapojení ochrany REF 630 a OMICRONU CMC 353 pro testování zemního zapojení.

#### 4.4 Vyměření vypínacích charakteristik

Při testování ochrany byl zvolen proud 1000 A pro snazší výpočet a následně se znalostí impedance bylo za pomoci Ohmova zákona dopočítáno napětí.

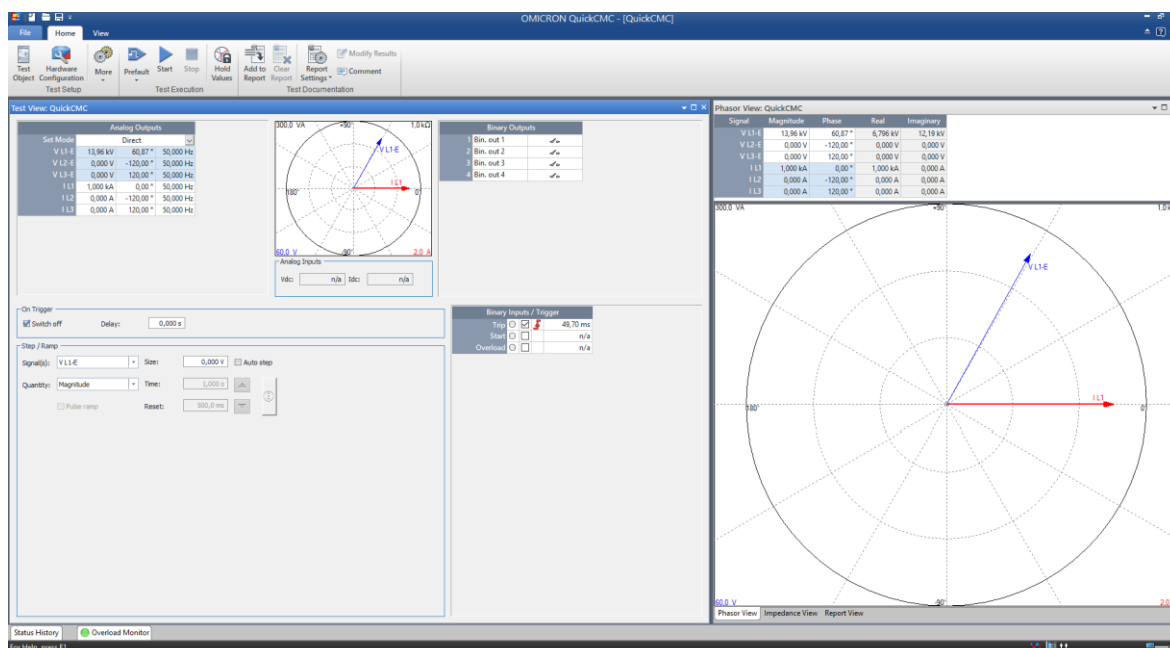
Správná funkčnost nastavení distanční ochrany byla vyzkoušena za pomoci testovacího zařízení Omicron CMC 353. Jako první byl otestována porucha na 20. km vedení, kdy byla otestována 1. zóna, nastavené napětí bylo 13,96 kV s fázovým posuvem 60,87° a proud 1000 A. Vypínací čas při tomto nastavení byl 49,70 ms, což odpovídá času ve kterém vypíná ochrana v 1. zóně.

$$\overline{Z}_{20} = l \cdot Z' = 20 * (0,34 + 0,61j) = 13,97 \cdot e^{j60,87^\circ} \quad (4.17)$$

$$\overline{U}_{20} = \overline{Z}_{20} \cdot I_{20} = (13,97 \cdot e^{j60,87^\circ}) \cdot 1000 = 13,97 \cdot e^{j60,87^\circ} \text{ kV} \quad (4.18)$$

Kde:

- $Z_{20}$  – zkratová impedance vedení při poruše na 20. km,
- $U_{20}$  – napětí při poruše na 20. km vedení,
- $I_{20}$  – proud vedením při poruše na 20. km vedení,
- $l$  – vzdálenost poruchy od začátku vedení,
- $Z'$  – impedance vedení na 1 km délky.



Obr. 43 Testování nastavení ochrany na poruchu na 20. km vedení.

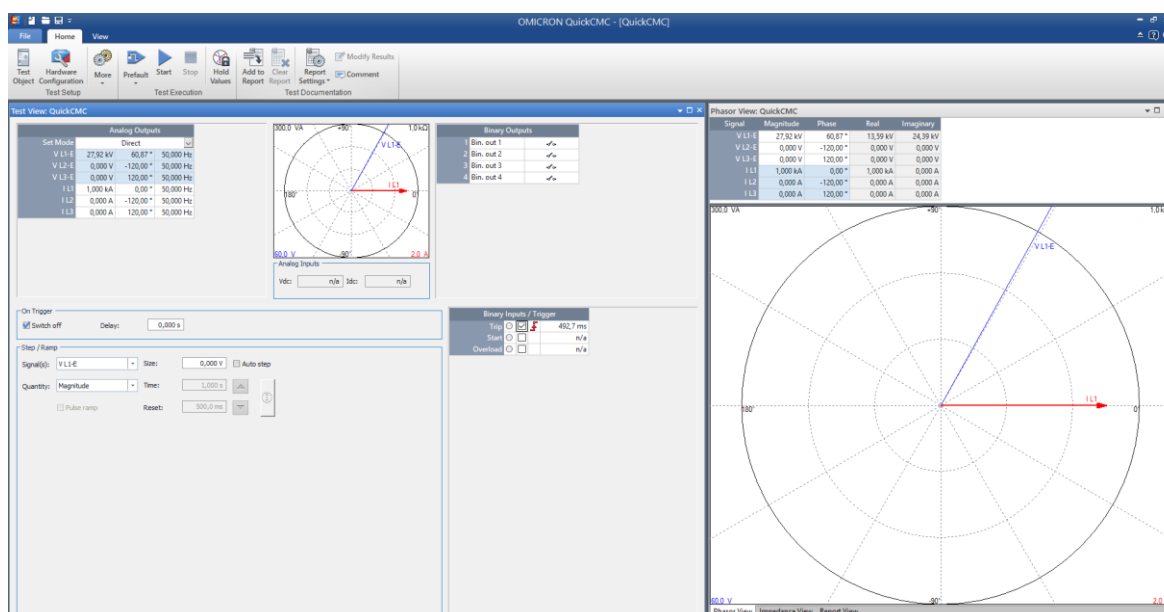
Dále byla otestována porucha na 40. km vedení, kdy byla ověřena 2. zóna, nastavené napětí bylo 27,92 kV s fázovým posuvem 60,87 ° a proud 1000 A. Vypínací čas byl 492,7 ms, což odpovídá času ve kterém ochrana vypíná v 2. zóně.

$$\overline{Z}_{40} = l \cdot Z' = 40 \cdot (0,34 + 0,61j) = 27,92 \cdot e^{j60,87^\circ} \Omega \quad (4.19)$$

$$\overline{U}_{20} = \overline{Z}_{20} \cdot I = (27,92 \cdot e^{j60,87^\circ}) \cdot 1000 = 27,92 \cdot e^{j60,87^\circ} \text{ kV} \quad (4.20)$$

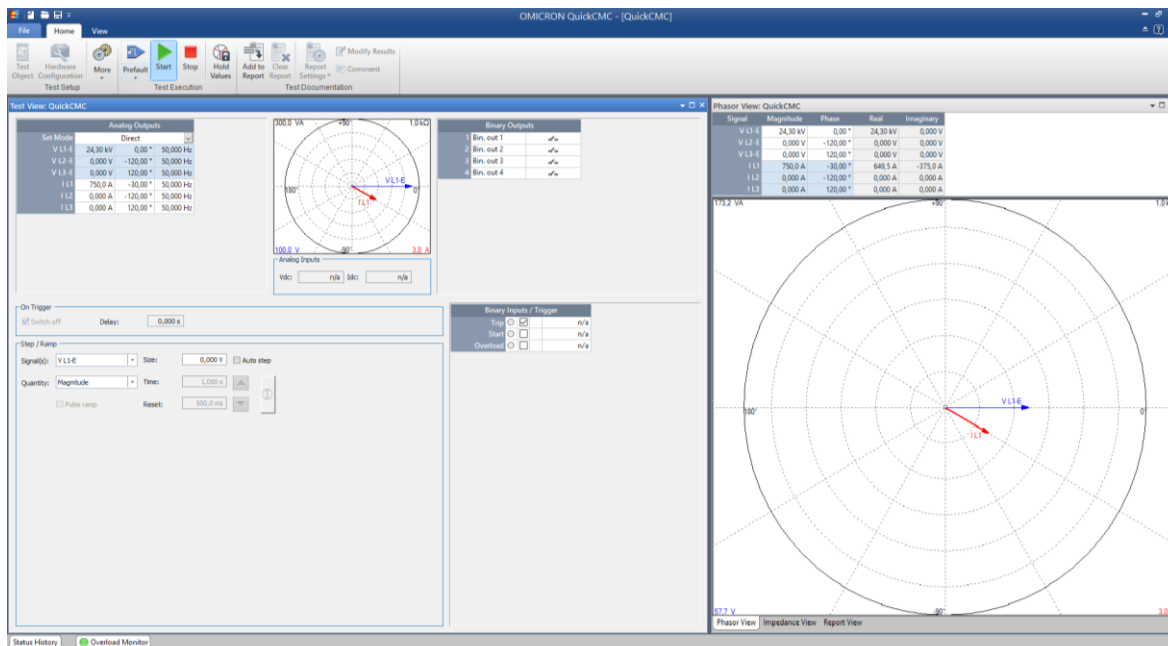
Kde:

- $Z_{40}$  – zkratová impedance vedení při poruše na 40. km,
- $U_{40}$  – napětí při poruše na 40. km vedení,
- $I_{40}$  – proud vedením při poruše na 40. km vedení,
- $l$  – vzdálenost poruchy od začátku vedení,
- $Z'$  – impedance vedení na 1 km délky.



Obr. 44 Testování nastavení ochrany na poruchu na 40. km vedení.

Dále bylo otestováno zda ochrana nevypíná při minimální provozní impedanci, minimální provozní impedance byla určena maximálním přípustným proudovým zatížením transformátoru, které odpovídá 750 A. Jako napětí bylo určeno 0,9·27 kV, bylo uvažováno pokles napětí o 10 % z jmenovité hodnoty. Při tomto nastavení ochrana nevypnula, je nastavena správně.



Obr. 45 Testování ochrany při minimální provozní impedanci

Dále byla ochrana testována pomocí nástrojů Shot Test, Check Test a Search Check, které jsou obsaženy v modulu Distance. Výsledky těchto testů jsou v kapitole 4.3.2 Modul Distance.

## Závěr

V diplomové práci jsem se zabýval nastavením distanční ochrany REF630 pro drážní aplikace, tato práce bude sloužit jako příručka pro projektanty, výpočtáře nastavení a také pro koncového uživatele.

Čtenář se v první části diplomové práce dozvěděl o problematice chránění, poté mu byla komplexněji představena problematika distančních ochran se zaměřením na jejich nastavení a selektivitu. Byl seznámen s užívanými napět'ovými hladinami používaných v železniční napájecí soustavě.

V poslední části diplomové práce je popisováno vytvoření typového nastavení ochrany pro drážní aplikace. Jsou zde popsány dvě možnosti zapojení, mezifázové a zemní zapojení, a popsány rozdíly mezi těmito zapojeními. Na doporučení pracovníků firmy ABB se nastavení zaměřuje na mezifázové zapojení, jenž funguje spolehlivě po celé ploše impedanční charakteristiky. Dále byl čtenář seznámen s programem PCM600, kde mu bylo vysvětleno uživatelské prostředí, jak naprogramovat ochranu a také byl proveden krok po kroku nastavením ochrany pro drážní aplikace. Nastavení počítá s jednokolejovou tratí jejíž impedance je  $0,34 + 0,61j \Omega / \text{km}$ , tato trať je v délce 40 km se spínací stanicí na 25 km vedení. 1. zóna dosahuje do spínací stanice s přesahem 15 % do následujícího vedení, má nastavené časové zpoždění 50 ms a je zde použita automatika opětného zapínání. 2. zóna pokrývá zbylých 15 km vedení s přesahem 20 % do následujícího vedení. Ověření správného nastavení impedanční charakteristiky bylo provedeno za pomoci testovacího zařízení OMICRON CMC 353 a modulu Distance, který nám umožnil pokročilé testování impedanční charakteristiky. Při tomto testování bylo zjištěno, že ochrana vypíná spolehlivě. V poslední podkapitole, bylo provedeno vyměření vypínacích charakteristik za pomoci OMICRONU CMC 353 a modulu QuickCMC. Byl simulován zkrat na 20. km, 40. km a chování ochrany při minimální provozní impedanci, například při rozjezdu vlakové soupravy. Vypínací čas při poruše na 20. km byl 49,70 ms, při poruše na 40. km byl vypínací čas 492,7 ms a při simulaci minimální provozní impedanci ochrana nezapůsobila. Při tomto testování bylo potvrzeno, že ochrana funguje tak jak se předpokládá.

Na základě této práce čtenář porozuměl problematice distančních ochran a je schopen tuto problematiku aplikovat na železniční napájecí soustavu. Je schopen samostatně vytvořit projekt, provést výpočet nastavení, vyzkoušet správnou funkčnost a porozumět chování distanční ochrany. Tato práce popisuje pouze nastavení pro testování a postup pro samotné

testování distanční ochrany, pro reálný provoz by bylo zapotřebí nastavit další vstupy (zda zapůsobil vypínač, odpojovač atd.) a výstupy (povel pro vypnutí vypínače, odepnutí odpojovače atd.).


Vzhledem k plánované renovaci železniční napájecí soustavy, kdy se plánuje rušit stejnosměrná síť o napěťové hladině 3 kV a celoplošně se bude přecházet na jednofázovou střídavou síť o hladině 25 kV, bude tato práce nabývat na důležitosti.





## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] GRYM, Rudolf. *Chránění II: elektrická zařízení vysokého napětí, chránění zařízení v průmyslu*. Havířov: Iris [Havířov], c2004. Pracovní a učební pomůcka. ISBN 80-903540-0-9.
- [2] CHMELÍK, Karel. *Chránění III: elektrická zařízení vysokého napětí*. Havířov: Iris [Havířov], c2005. Pracovní a učební pomůcka. ISBN 80-903540-5-X.
- [3] *630 series, Technical Manual*. Product Version: 1.3, Revision: E. ABB, 2014. Dostupné také z: <https://new.abb.com>
- [4] *Feeder Protection and Control REF630: Product Guide*. Product version: 1.3, Revision: F. ABB, 2014.
- [5] PROCHÁZKA, Martin. *Distanční ochrana: Principy a použití*. Plzeň, 2004. Učební text. Západočeská univerzita v Plzni.
- [6] TESAŘOVÁ, Miloslava. *Elektrická ochrana*. Plzeň. Přednáška KEE/EE2. ZČU.
- [7] HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. Plzeň. Přednáška KEE/TPR. ZČU.
- [8] ZIEGLER, Gerhard. *Numerical distance protection: principles and applications*. 4th updated and enlarged edition. Munich: Publicis Publishing, 2011. ISBN 978-3-89678-667-9.
- [9] Elektrická trakce - Úvod do elektrické trakce. *EDUCON* [online]. Plzeň: ZČU FEL KEV, 2005 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.educon.zcu.cz/view.php?cislomodulu=2015013101>
- [10] ŠIMEK, Luděk. Jednotná napájecí soustava trakčního vedení v ČR. *VLAKY.NET - Magazín o vlacích a železnicích* [online]. 2017 [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/6487-Prednaska-na-tema-Jednotna-napajeci-soustava-trackniho-vedeni-v-Cesku/>
- [11] *IEEE Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations: IEEE Power and Energy Society*. C37.2. New York: IEEE, 2008.
- [12] *Innovative Power System Testing Solutions - OMICRON* [online]. Vienna, Austria, 2019 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.omicronenergy.com/en/>
- [13] DOLEČEK, Radovan a Ondřej ČERNÝ. *Trakční napájecí soustavy*. Pardubice, 2015. Studijní opora. Univerzita Pardubice, Doprávní fakulta Jana Pernera.
- [14] *Služobná rukoväť SR 34 (E): Nastavovanie, prevádzka a údržba reléových ochran trakčného napájacieho obvodu*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů.




Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max	Format		
Dir mode EF GFC		Non-directional						
Pol quantity GFC		Zero seq. volt.						
Chr angle GFC		30	Deg	-179	180			
Max phase angle GFC		70	Deg	0	90			
Min phase angle GFC		55	Deg	0	90			
Phase or loop selection logic								
Ph Prf mode Hi Z GFC		No filter						
Ph Prf mode Lo Z GFC		All loops						
Setting Group1								
Gnd Op A XC GFC		0,20	pu	0,10	10,00			
PP voltage XCF GFC		0,60	pu	0,10	1,00			
Cross-country DI GFC		0,10	s	0,00	10,00			
Zones General								
Impedance mode Zn		Rectangular						
Impedance Chr Gnd Zn		Quadrilateral						
Impedance Chr PP Zn		Quadrilateral						
Max phase angle zone		10	Deg	0	45			
Min phase angle zone		115	Deg	90	135			
Pol quantity zone		Pos. seq. volt.						
Zone timer mode		Independent						
Fact EF current Bal		1,200		1,000	2,000			
Voltage Mem time		400	ms	100	3000			
Zone 1								
Setting Group1								
Directional mode Zn1		Forward						
Tilt angle zone 1		0	Deg	-45	45			
Op Mod PP loops Zn1		Enabled						
PP Op delay Mod Zn1		Enabled						
R1 zone 1		4,89	ohm	0,01	3000,00			
X1 zone 1		8,77	ohm	0,01	3000,00			
X1 reverse zone 1		8,77	ohm	0,01	3000,00			
Z1 zone 1		10,04	ohm	0,01	3000,00			
Z1 angle zone 1		61	Deg	15	90			
Z1 reverse zone 1		10,04	ohm	0,01	3000,00			
Min Ris PP Rch Zn1		7,50	ohm	0,01	100,00			
Max Ris PP Rch Zn1		7,50	ohm	0,01	100,00			
PP operate delay Zn1		0,040	s	0,040	60,000			
Op Mod Gnd loops Zn1		Disabled						
Gnd Op DI mode Zn1		Enabled						
Load Com zone 1		Disabled						
R0 zone 1		0,01	ohm	0,01	3000,00			
X0 zone 1		0,01	ohm	0,01	3000,00			
Factor K0 zone 1		1,0		0,0	4,0			
Factor K0 angle Zn1		0	Deg	-135	135			
Min Ris Gnd Rch Zn1		15,00	ohm	0,01	500,00			
Max Ris Gnd Rch Zn1		15,00	ohm	0,01	500,00			
		Project	Responsible department	Technical ref...	Document kind	Doc. designation		
		REF630 v1	ABB Ltd.			AA1L1Q01A11		
		Repla...		Created by	Title	Document id.		
		REF630 v1.Substation.Voltage Level.Bay		Approved by	REF630_mezifaz			
Re v.	Modification	Rel. date	Created by	Based on	Rev.	Rel. date	Lan	2 / 5
					0	06.02.2019	en	

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max	Format			
Gnd operate DI Zn1		0,300	s	0,040	60,000				
Par line Com zone 1		Disabled							
Mutual R0 zone 1		0,01	ohm	0,01	3000,00				
Mutual X0 zone 1		0,01	ohm	0,01	3000,00				
Zone 2									
Setting Group1									
Directional mode Zn2		Forward							
Tilt angle zone 2		-30	Deg	-45	45				
Op Mod PP loops Zn2		Enabled							
PP Op delay Mod Zn2		Enabled							
R1 zone 2		8,16	ohm	0,01	3000,00				
X1 zone 2		14,64	ohm	0,01	3000,00				
X1 reverse zone 2		14,64	ohm	0,01	3000,00				
Z1 zone 2		16,76	ohm	0,01	3000,00				
Z1 angle zone 2		61	Deg	15	90				
Z1 reverse zone 2		16,76	ohm	0,01	3000,00				
Min Ris PP Rch Zn2		7,50	ohm	0,01	100,00				
Max Ris PP Rch Zn2		7,50	ohm	0,01	100,00				
PP operate delay Zn2		0,500	s	0,040	60,000				
Op Mod Gnd loops Zn2		Disabled							
Gnd Op DI mode Zn2		Enabled							
Load Com zone 2		Disabled							
R0 zone 2		0,01	ohm	0,01	3000,00				
X0 zone 2		0,01	ohm	0,01	3000,00				
Factor K0 zone 2		1,0		0,0	4,0				
Factor K0 angle Zn2		0	Deg	-135	135				
Min Ris Gnd Rch Zn2		15,00	ohm	0,01	500,00				
Max Ris Gnd Rch Zn2		15,00	ohm	0,01	500,00				
Gnd operate DI Zn2		0,500	s	0,040	60,000				
Par line Com zone 2		Disabled							
Mutual R0 zone 2		0,01	ohm	0,01	3000,00				
Mutual X0 zone 2		0,01	ohm	0,01	3000,00				
Zone 3									
Setting Group1									
Directional mode Zn3		Forward							
Tilt angle zone 3		0	Deg	-45	45				
Op Mod PP loops Zn3		Disabled							
PP Op delay Mod Zn3		Disabled							
R1 zone 3		0,01	ohm	0,01	3000,00				
X1 zone 3		0,01	ohm	0,01	3000,00				
X1 reverse zone 3		0,01	ohm	0,01	3000,00				
Z1 zone 3		100,00	ohm	0,01	3000,00				
Z1 angle zone 3		70	Deg	15	90				
Z1 reverse zone 3		0,01	ohm	0,01	3000,00				
Min Ris PP Rch Zn3		22,50	ohm	0,01	100,00				
Max Ris PP Rch Zn3		50,00	ohm	0,01	100,00				
			Project	Responsible department	Technical ref...	Document kind	Doc. designation		
			REF630 v1	ABB Ltd.			AA1L1Q01A11		
			Repla...		Created by	Title	Document id.		
			REF630 v1.Substation.Voltage Level.Bay		Approved by	REF630_mezifaz			
Re v.	Modification	Rel. date	Created by	Based on		Rev.	Rel. date	Lan	3 / 5
						0	06.02.2019	en	

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max	Format		
PP operate delay Zn3		0,050	s	0,040	60,000			
Op Mod Gnd loops Zn3		Disabled						
Gnd Op DI mode Zn3		Disabled						
Load Com zone 3		Disabled						
R0 zone 3		0,01	ohm	0,01	3000,00			
X0 zone 3		0,01	ohm	0,01	3000,00			
Factor K0 zone 3		0,0		0,0	4,0			
Factor K0 angle Zn3		0	Deg	-135	135			
Min Ris Gnd Rch Zn3		22,50	ohm	0,01	500,00			
Max Ris Gnd Rch Zn3		50,00	ohm	0,01	500,00			
Gnd operate DI Zn3		0,500	s	0,040	60,000			
Par line Com zone 3		Disabled						
Mutual R0 zone 3		0,01	ohm	0,01	3000,00			
Mutual X0 zone 3		0,01	ohm	0,01	3000,00			
Zone AR1								
Setting Group1								
Directional mode AR1		Forward						
Tilt angle AR1		0	Deg	-45	45			
Op Mod PP loops AR1		Disabled						
PP Op delay Mod AR1		Enabled						
R1 AR1		0,01	ohm	0,01	3000,00			
X1 AR1		0,01	ohm	0,01	3000,00			
X1 reverse AR1		0,01	ohm	0,01	3000,00			
Z1 AR1		10,00	ohm	0,01	3000,00			
Z1 angle AR1		60	Deg	15	90			
Z1 reverse AR1		10,00	ohm	0,01	3000,00			
Min Ris PP Rch AR1		8,64	ohm	0,01	100,00			
Max Ris PP Rch AR1		0,01	ohm	0,01	100,00			
PP operate delay AR1		0,300	s	0,040	60,000			
Op Mod Gnd loops AR1		Disabled						
Gnd Op DI mode AR1		Enabled						
Load Com AR1		Disabled						
R0 AR1		0,01	ohm	0,01	3000,00			
X0 AR1		0,01	ohm	0,01	3000,00			
Factor K0 AR1		0,0		0,0	4,0			
Factor K0 angle AR1		0	Deg	-135	135			
Min Ris Gnd Rch AR1		8,64	ohm	0,01	500,00			
Max Ris Gnd Rch AR1		0,01	ohm	0,01	500,00			
Gnd operate DI AR1		0,300	s	0,040	60,000			
Par line Com AR1		Disabled						
Mutual R0 AR1		0,01	ohm	0,01	3000,00			
Mutual X0 AR1		0,01	ohm	0,01	3000,00			
Zone AR2								
Setting Group1								
Directional mode AR2		Forward						
Tilt angle AR2		0	Deg	-45	45			
			Project	Responsible department	Technical ref...	Document kind	Doc. designation	
			REF630 v1	ABB Ltd.			AA1L1Q01A1	
			Repla...		Created by	Title	Document id.	
			REF630 v1.Substation.Voltage Level.Bay		Approved by			REF630
Re v.	Modification	Rel. date	Created by	Based on	Rev.	Rel. date	Lan	4 / 5
					0	06.02.2019	en	

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max	Format
Op Mod PP loops AR2		Disabled				
PP Op delay Mod AR2		Enabled				
R1 AR2		0,01	ohm	0,01	3000,00	
X1 AR2		0,01	ohm	0,01	3000,00	
X1 reverse AR2		0,01	ohm	0,01	3000,00	
Z1 AR2		65,00	ohm	0,01	3000,00	
Z1 angle AR2		60	Deg	15	90	
Z1 reverse AR2		0,01	ohm	0,01	3000,00	
Min Ris PP Rch AR2		22,50	ohm	0,01	100,00	
Max Ris PP Rch AR2		36,85	ohm	0,01	100,00	
PP operate delay AR2		0,500	s	0,040	60,000	
Op Mod Gnd loops AR2		Disabled				
Gnd Op DI mode AR2		Enabled				
Load Com AR2		Disabled				
R0 AR2		0,01	ohm	0,01	3000,00	
X0 AR2		0,01	ohm	0,01	3000,00	
Factor K0 AR2		0,0		0,0	4,0	
Factor K0 angle AR2		0	Deg	-135	135	
Min Ris Gnd Rch AR2		22,50	ohm	0,01	500,00	
Max Ris Gnd Rch AR2		36,85	ohm	0,01	500,00	
Gnd operate DI AR2		0,500	s	0,040	60,000	
Par line Com AR2		Disabled				
Mutual R0 AR2		0,01	ohm	0,01	3000,00	
Mutual X0 AR2		0,01	ohm	0,01	3000,00	

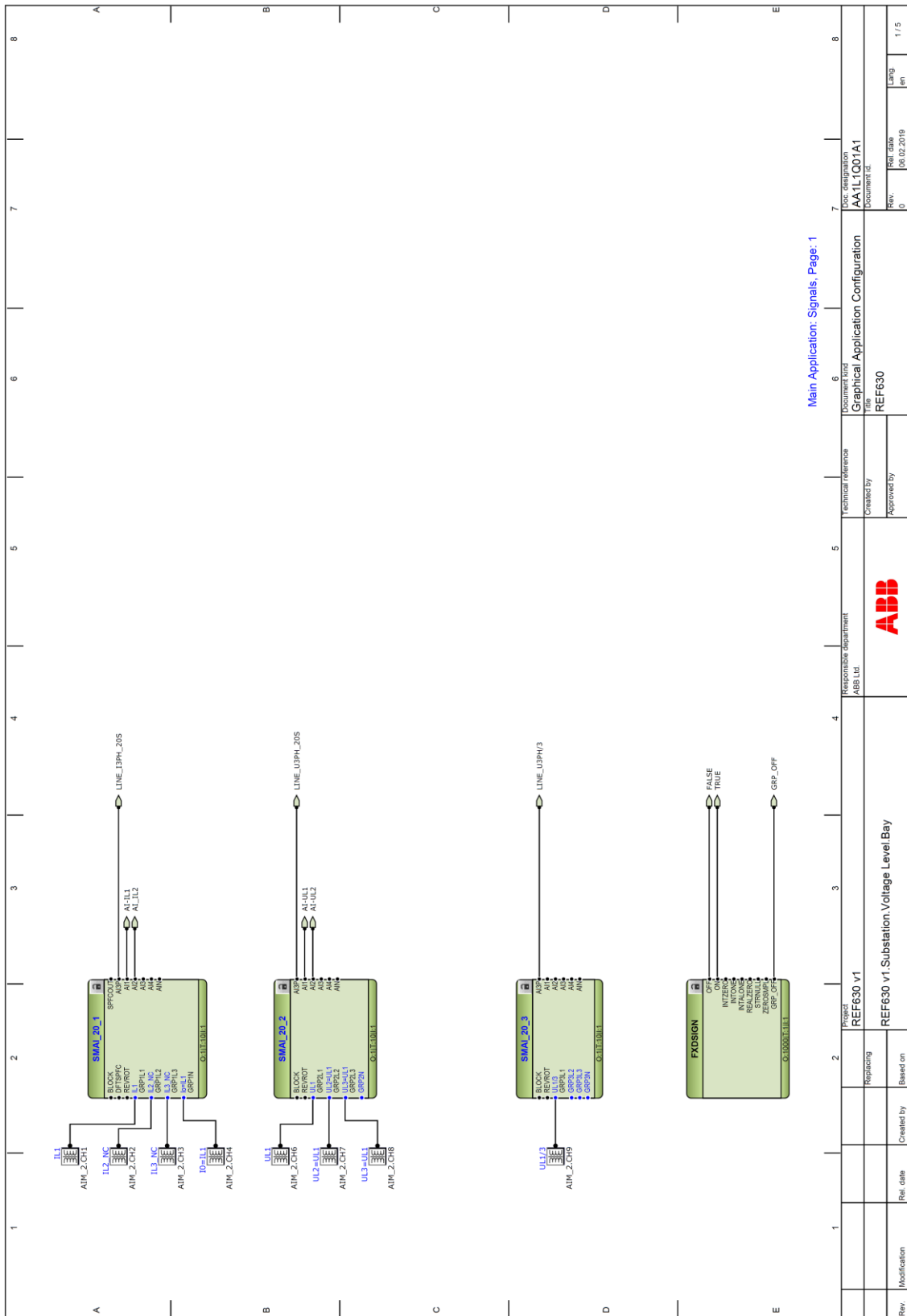
					Project REF630 v1	Responsible department ABB Ltd.	Technical ref...	Document kind	Doc. designation AA1L1Q01A1
				Repla...	REF630 v1.Substation.Voltage Level.Bay		Created by	Title REF630	Document id.
Re v.	Modification	Rel. date	Created by	Based on			Approved by		Rev.
									0 06.02.2019 en







# Příloha B Konfigurace ochrany pro účel diplomové práce



Main Application: Signals, Page: 1

Doc designation	AA1L1Q01A1
Document kind	Graphical Application Configuration
Document title	REF630
Rev.	0
Rel. date	06.02.2019
Lang.	en
Page	1 / 5

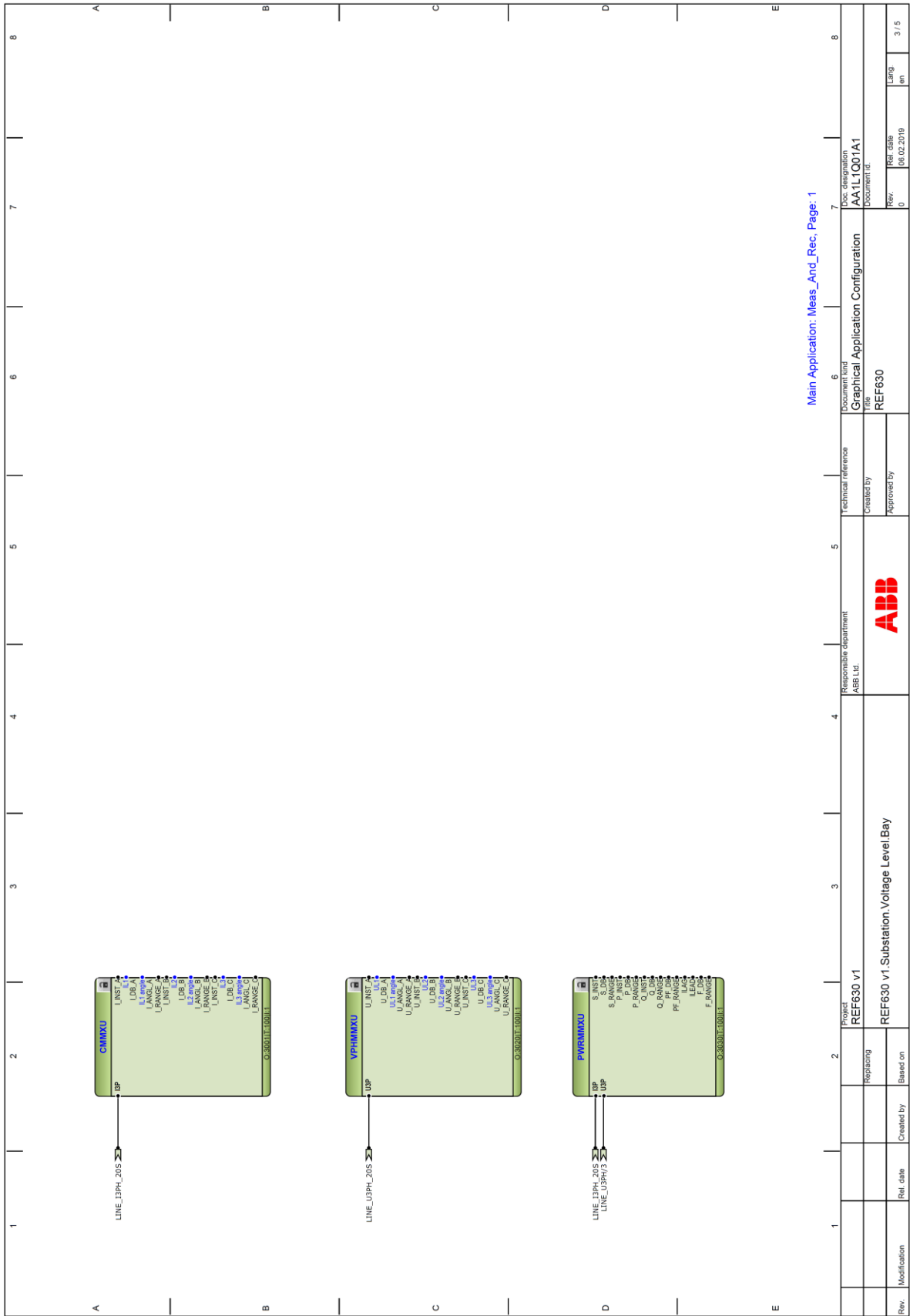
  

Responsible department	ABB Ltd
ABB logo	
Technical reference	
Created by	
Approved by	

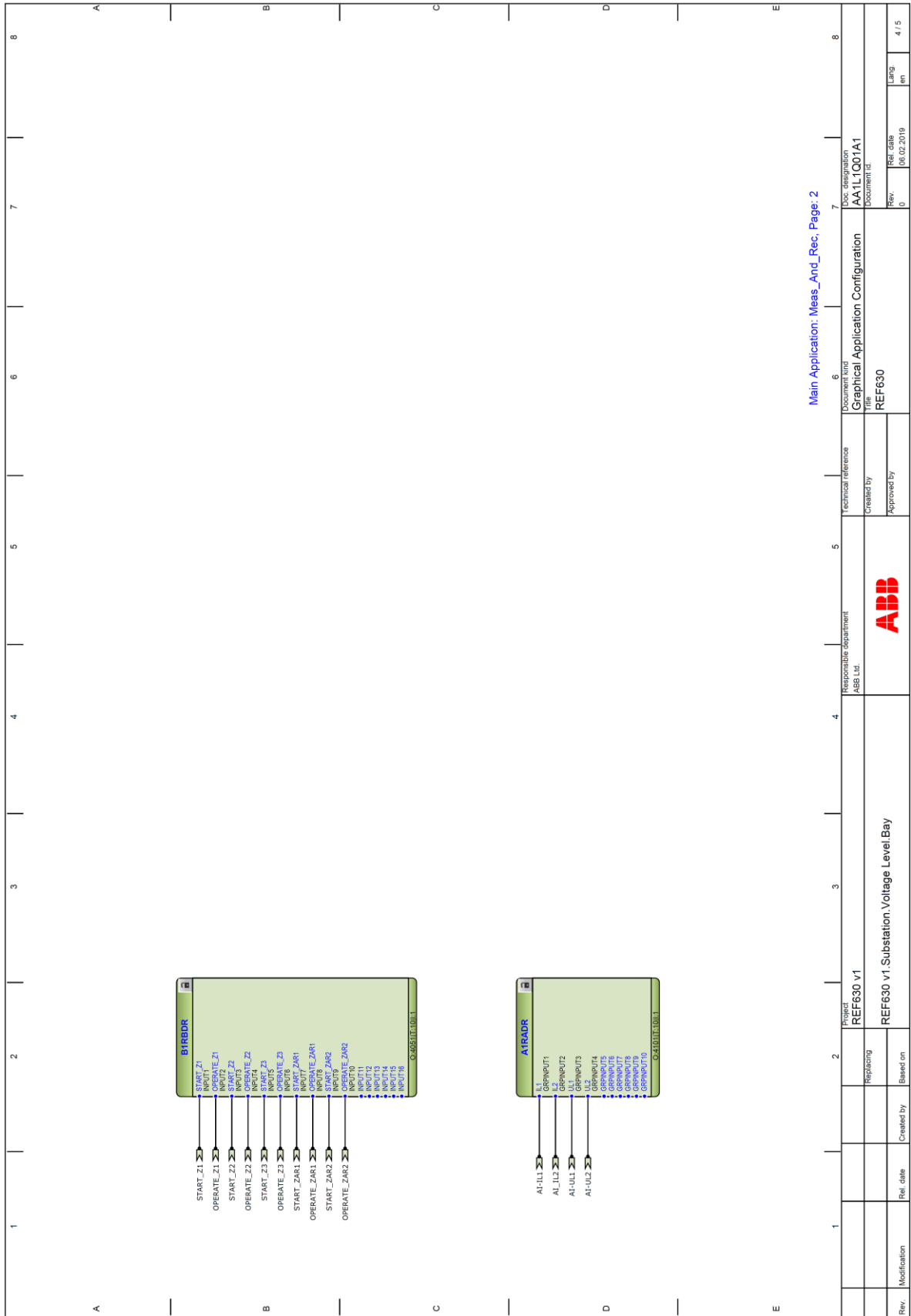
  

Version	REF630 v1
Replacing	
Based on	
Created by	
Rel. date	
Modification	



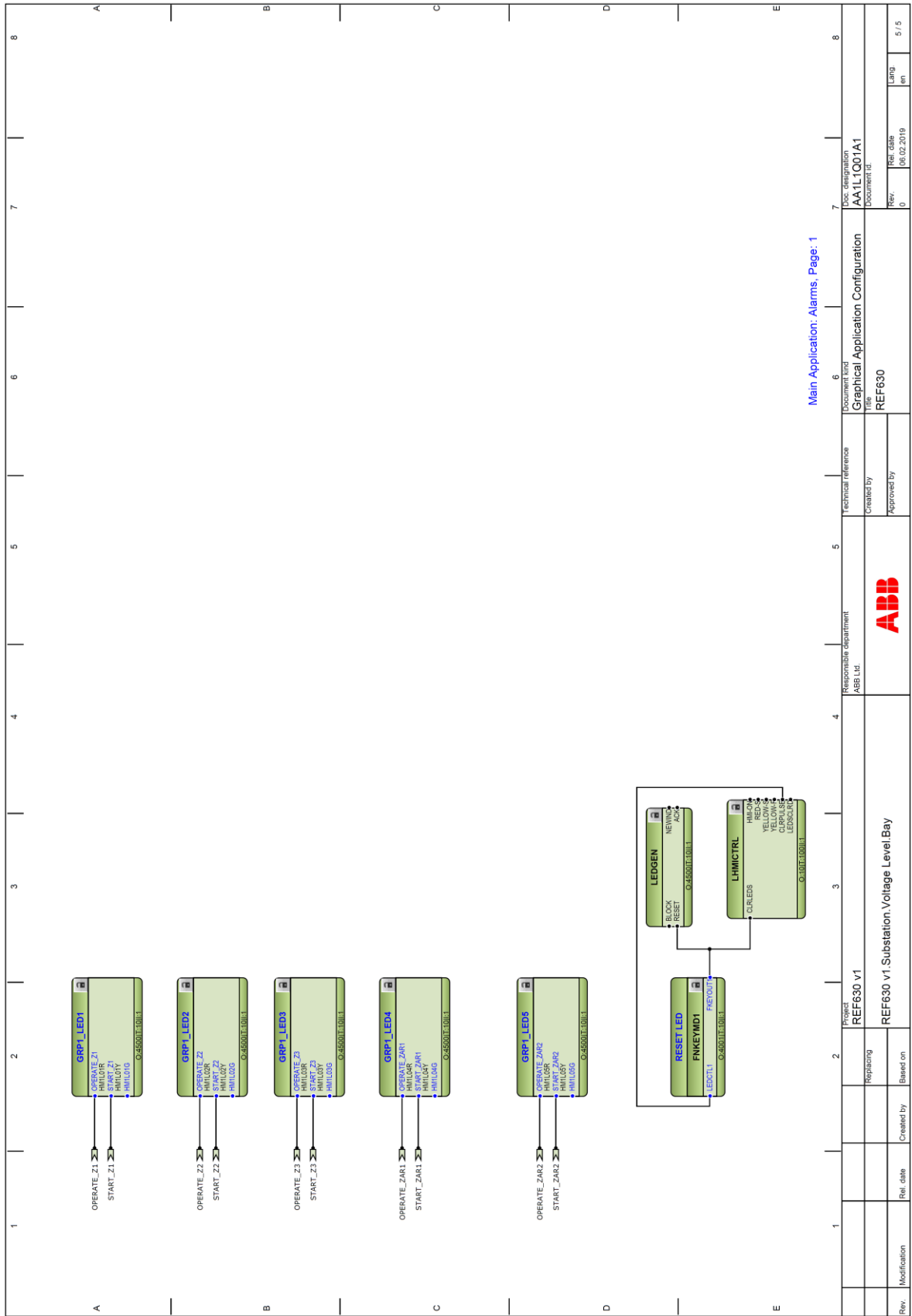


Main Application: Meas\_And\_Rec, Page: 1



Main Application: Meas\_And\_Rec, Page: 2

1	2	3	4	5	6	7	8	
	Project REF630 v1		Responsible department ABB Ltd.	Technical reference	Document and Graphical Application Configuration REF630	Doc. description AAL1TQ01A1 Document ID		
			<b>ABB</b>	Created by		Rev. 0	Rel. date 06.02.2019	
				Approved by			Lang en	4 / 5
Rev.	Modification	Rel. date	Created by	Based on	REF630 v1.Substation.Voltage Level.Bay			



Main Application: Alarms, Page: 1

Rev.	Modification	Rel. date	Created by	Based on	Responsible department	ABB Ltd.	ABB	Technical reference	Created by	Approved by	Document title	REF630	Document ID	AA-IL-1Q01A1	Rev.	0	Rel. date	06.02.2019	Lang	en	Page	5 / 5
------	--------------	-----------	------------	----------	------------------------	----------	-----	---------------------	------------	-------------	----------------	--------	-------------	--------------	------	---	-----------	------------	------	----	------	-------

# Příloha C Přehledové schéma TNS Strakonice

