



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## OCHRANNÉ FUNKCE TERMINÁLU REX 640 PŘI JEDNOPÓLOVÝCH ZEMNÍCH PORUCHÁCH

PROTECTION FUNCTIONS OF THE REX 640 TERMINAL IN CASE OF EARTH FAULTS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Josef Siegel

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vojtěch Wasserbauer

BRNO 2020



# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Josef Siegel

**ID:** 78296

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2019/20

**NÁZEV TÉMATU:**

## Ochranné funkce terminálu REX 640 při jednopólových zemních poruchách

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

- 1, Přehled ochrany při jednofázových poruchách v jednotlivých typech distribučních sítí
- 2, Základní popis terminálu REX 640 a jeho funkcí se zaměřením na chránění při zemních poruchách
- 3, Konfigurace a nastavení vybraných ochranných funkcí terminálu REX 640
- 4, Ověření funkčnosti vybraných ochranných funkcí terminálu REX 640 a zhodnocení výsledků měření

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 10.6.2020

**Vedoucí práce:** Ing. Vojtěch Wasserbauer

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

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



## **Abstrakt**

Tato bakalářské práce se zabývá ochranami pro poruchové stavy elektrizační soustavy, se zaměřením na zemní spojení. Tyto ochrany musí být schopny vyhodnocovat zemní spojení v sítích kompenzovaných, kompenzovaných s pomocným odporníkem, izolovaných a odporově uzemněných.

Dále je součástí práce řešerše metod zjišťování zemních spojení, včetně jejich principů a popisu funkce.

## **Klíčová slova**

ochranné funkce, ABB, REX640, RTU7M, zemní spojení, digitální ochrana, IED

## **Abstract**

*This bachelor thesis deals with the protection, implementation and evaluation of test for fault condition indicators. Thesis focus on earth fault indicators. These protections must be able to evaluate earth faults in compensated, compensated with auxiliary resistor, unearthed and high-resistance earthed networks.*

*Furthermore, part of the thesis is research of methods of earth fault detection, including their principles and function description.*

## **Keywords**

protection functions, ABB, REX640, RTU7M, earth-fault protection, digital protection, IED

## **Bibliografická citace:**

SIEGEL, Josef. *Ochranné funkce terminálu REX 640 při jednofázových zemních poruchách*. Brno, 2020.

Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127274>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Vojtěch Wasserbauer.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou Bakalářskou práci na téma Ochranné funkce terminálu REX 640 při jednopólových zemních poruchách jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **10. června 2020**

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Vojtěchu Wasserbauerovi za pedagogickou podporu a vedení při tvorbě této práce. Taktéž bych rád poděkoval své manželce a rodině za celkovou podporu a schovívavost při studiu na vysoké škole.

V Brně dne: **10. června 2020**

.....  
podpis autora

# Obsah

1.	Elektrizační soustava.....	15
1.1	Přenosová soustava .....	16
1.2	Distribuční soustava .....	16
1.2.1	Venkovní vedení .....	17
1.2.2	Kabelové vedení .....	17
1.3	Způsoby provozu uzlu sítě .....	18
1.3.1	Sítě izolované.....	18
1.3.2	Sítě účinně uzemněné .....	18
1.3.3	Sítě kompenzované .....	19
1.3.4	Sítě uzemněné přes rezistenci .....	19
2.	Poruchy v elektrizační soustavě .....	20
2.1	Nebezpečné dotykové a krokové napětí.....	20
2.2	Zkraty v elektrizační soustavě.....	20
3.	Teoretický rozbor vzniku jednofázových poruch .....	22
3.1	Jednofázový zkrat.....	22
3.1.1	Zemní spojení v síti kompenzované zhašecí tlumivkou .....	23
3.2	Metody identifikace vývodu se zemní poruchy .....	24
3.3	Dynamické metody .....	25
3.3.1	Metoda první půl-periody .....	25
3.3.2	Metoda qu-diagramu .....	25
3.3.3	Metoda qu <sup>2</sup> -diagramu .....	25
3.4	Statické metody vhodné pro kompenzované sítě .....	26
3.4.1	Metoda detekce činné složky netočivého proudu .....	26
3.4.2	Admitanční metoda netočivé složky .....	26
3.4.3	Konduktanční metoda .....	26
3.4.4	Konduktanční metoda s měřením přírůstkem.....	27
3.4.5	Metoda vyšších harmonických .....	27
3.5	Statické metody vhodné pro izolované sítě.....	27
3.5.1	Porovnání amplitudy netočivé složky proudu .....	27
3.5.2	Porovnání fáze netočivé složky proudu .....	27
3.5.3	Určení toku netočivé složky jalového výkonu.....	27

3.5.4	Maximální změna jalové složky netočivého proudu .....	28
4.	OCHRANY PŘI ZEMNÍCH SPOJENÍCH .....	29
4.1	Ochrana ABB REX 640 .....	30
4.1.1	Základní vlastnosti a možnosti HW .....	30
4.1.2	Popis testované jednotky .....	32
4.1.2.1	Napájecí karta .....	33
4.1.2.2	Komunikační karty .....	33
4.1.2.3	Karty vstupu a výstupů .....	33
4.1.2.4	Měřicí karty (analogové vstupy) .....	34
4.1.3	Local HMI (LHMI) .....	35
4.2	Modulární řídicí jednotka RTU7M (Elvac a.s.) .....	36
4.2.1	Základní vlastnosti a možnosti HW .....	36
4.2.1.1	Napájecí karta .....	37
4.2.1.2	Komunikační karta .....	37
4.2.1.3	Karty vstupů a výstupů .....	37
4.2.1.4	Měřicí karta .....	38
4.3	srovnání HW vybavení .....	38
5.	Softwarové vybavení .....	39
5.1	Funkční principy ochrany .....	40
5.2	SW vybavení ochrany ABB REX 640 .....	41
5.2.1	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana PHxPTOC .....	42
5.2.2	Třífázová směrová nadproudová ochrana (DPHxPDO) .....	43
5.2.3	Nesměrová zemní ochrana (EFxPTOC) .....	44
5.2.4	Zemní admitanční ochrana EFPADM .....	45
5.2.5	Zemní wattmetrická ochrana WPWDE .....	47
5.3	SW vybavení ochrany RTU7M .....	49
5.3.1	Obecná nadproudová ochrana .....	50
5.3.2	Konduktanční zemní ochrana .....	52
5.3.3	Wattmetrická zemní ochrana .....	52
5.4	Porovnání .....	53

6.	Programové vybavení.....	54
6.1	ABB REX640.....	54
6.1.1	Instalace PCM600.....	54
6.1.2	Nastavení připojení .....	54
6.1.3	Konfigurace .....	55
6.2	RTU7M .....	58
6.2.1	Instalace Uživatelského Centra.....	58
6.2.2	Nastavení připojení .....	60
6.2.3	Konfigurace .....	60
6.3	Rozdíly .....	61
7.	Experimentální model .....	62
7.1.1	Parametry modelu .....	62
7.1.2	Zhášecí tlumivka.....	63
7.2	Schéma zapojení.....	63
8.	Ověření funkčnosti vybraných ochranných funkcí .....	64
8.1	Třífázová směrová nadproudová ochrana .....	65
8.1.1	Testování ochrany .....	67
8.1.2	Zhodnocení testu.....	68
8.2	Konduktanční zemní ochrana.....	69
8.2.1	Testování ochrany .....	71
8.2.2	Zhodnocení testu.....	73
8.3	Směrová zemní ochrana Zemní.....	74
9.	Závěr .....	76

# Seznam symbolů a zkratek

## Zkratky:

ABB	-	ASEA Brown Boveri
ADC	-	analogový digitální převodník
D / A	-	digitální analogový
DFT	-	diskrétní Fourierova transformace
DSP	-	procesor digitálních signálů
HMI	-	rozhraní člověk – stroj
HW	-	hardware
PT	-	přístrojový transformátor
PTN	-	přístrojový transformátor napětí
PTP	-	přístrojový transformátor proudu
RC	-	Rogowského cívka
RMS	-	efektivní hodnota
TP	-	třída přesnosti
VN	-	vysoké napětí
SCADA	-	Supervisory Control And Data Acquisition
SW	-	software
VUT	-	Vysoké učení technické v Brně
FEKT	-	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

## Symbols:

$\bar{U}$	...	napětí zdroje	[V]
$\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3, \bar{U}_0$	...	napětí jednotlivých složek	[V]
$\bar{U}_A, \bar{U}_B, \bar{U}_C$	...	fázová napětí	[V]
$\bar{U}_{B0}, \bar{U}_{C0}$	...	napětí jednotlivých fází vůči zemi	[A]
$\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3, \bar{I}_0$	...	proudy jednotlivých složek	[A]
$\bar{I}_L$	...	kompenzační proud protékající tlumivkou	[A]
$\bar{I}_p$	...	poruchový proud	[A]
$\bar{I}_A, \bar{I}_B, \bar{I}_C$	...	proudy fází A, B a C	[A]
$I_{V1-3f}$	...	poruchový proud při 3f zkratu	[A]
$I_{VYP-3f-prim}$	...	poruchový proud při 3f zkratu (primární strana)	[A]



$G_{TL}$	...	konduktance tlumivky	[S]
$G_{VED}$	...	konduktance vedení	[S]
$R_{Pprim}$	...	odpor pomocného odporníku tlumivky	[ $\Omega$ ]
$\bar{Z}_{c1}$	...	celková impedance sousledné složky soustavy	[ $\Omega$ ]
$\bar{Z}_{c2}$	...	celková impedance zpětné složky soustavy	[ $\Omega$ ]
$\bar{Z}_{c0}$	...	celková impedance netočivé složky soustavy	[ $\Omega$ ]
$\bar{Z}_v$	...	impedance vedení	[ $\Omega$ ]

## Seznam obrázků

Obr. 1-1	Uspořádání elektrizační soustavy [1] .....	15
Obr. 1-2	Příklady možných způsobů uzemnění nulového bodu soustavy. [1] .....	18
Obr. 2-1	Druhy zkratů [3] .....	21
Obr. 3-1	Schématické znázornění sítě s izolovaným uzlem při zemním spojení [1] .....	22
Obr. 3-2	Fázorový diagram pro zemní spojení v bodě A [1] .....	22
Obr. 3-3	Schématické znázornění sítě se zhášecí tlumivkou při ZS [1] .....	23
Obr. 3-4	Fázorový diagram pro zemní spojení v bodě A [1] .....	23
Obr. 3-5	Měření netočivých složek napětí $U_0$ a proudu $I_0$ . [6] .....	24
Obr. 3-6	Charakteristika wattmetrického článku [1] .....	26
Obr. 4-1	Ochrana ABB REX 640. [8] .....	30
Obr. 4-2	Pohled na jednotlivé karty ochrany ABB REX 640. [8] .....	31
Obr. 4-3	Pohled na jednotlivé karty testované ochrany ABB REX 640. ....	32
Obr. 4-4	Možnost vizualizace fázorů ochrany ABB REX 640. [8] .....	35
Obr. 4-5	Osazená jednotka RTU7M-8. ....	36
Obr. 5-1	Ukázka možnosti zapojení ochrany ABB REX 640. [8] .....	39
Obr. 5-2	Funkční schéma ochrany PHIPTOC .....	42
Obr. 5-3	Blokové schéma směrové ochrany DPHxPDOC [8] .....	43
Obr. 5-4	Směrová charakteristika pro účinně uzemněnou síť [8] .....	44
Obr. 5-5	Funkční schéma ochrany EFPADM [8] .....	45
Obr. 5-6	Příklady možných operačních oblastí ochrany EFPADM [8] .....	46
Obr. 5-7	Funkční schéma ochrany WPWDE .....	48
Obr. 5-8	Směrová charakteristika [14] .....	50

Obr. 6-1 Nastavení proudových rozsahů .....	55
Obr. 6-2 Nastavení napěťových rozsahů .....	56
Obr. 6-3 Ukázka možné úpravy jednopólového schématu .....	56
Obr. 6-4 Úspěšně nahraná konfigurace do jednotky – svítí zelená LED.....	57
Obr. 6-5 Vizualizace fázorů napětí a proudu během poruchy – svítí červená LED .	57
Obr. 6-6 MS SQL SERVER EXPRESS 2008 .....	58
Obr. 6-7 SQL Managment for RTU.....	59
Obr. 6-8 RTU Communicator Configuration .....	59
Obr. 6-9 Nastavení IP adresy jednotky .....	60
Obr. 6-10 Nastavení proudových a napěťových rozsahů.....	61
Obr. 7-1 Schéma zapojení modelu.....	62
Obr. 8-1 Konfigurace RTU7M pro povolení záznamu poruchových stavů.....	64
Obr. 8-2 Nastavení RTU7M (ochrana ANSI67).....	66
Obr. 8-3 Nastavení ochrany DPHHPDOC u REX640 .....	66
Obr. 8-4 Schéma poruchy .....	67
Obr. 8-5 Zaznamenaný poruchový záznam .....	68
Obr. 8-6 Fázorové diagramy během poruchy .....	68
Obr. 8-7 Nastavení RTU7M (ochrana ZS-K) .....	70
Obr. 8-8 Nastavení EFPADM1 .....	70
Obr. 8-9 Schéma poruchy .....	71
Obr. 8-10 Zaznamenaný poruchový záznam .....	72
Obr. 8-11 Fázorové diagramy během poruchy .....	72
Obr. 8-12 Nastavení ochrany DEFLPDEF – REX640 .....	74
Obr. 8-13 Nastavení RTU7M (ochrana ANSI 67N).....	75

## Seznam tabulek

Tabulka 1-1 Tabulka napěťových úrovní v elektrizační soustavě ČR.....	15
Tabulka 1-2 Principiální řešení sítí jednotlivých napěťových úrovní .....	17
Tabulka 3-1 Tabulka možného využití ochran v různých typech sítí. [7] .....	28
Tabulka 4-1 Tabulka možné konfigurace ochrany ABB REX 640 [8] .....	31
Tabulka 4-2 Komunikační porty jednotlivých karet ochrany ABB REX 640 [8] ....	33
Tabulka 5-1 Tabulka porovnání ochranných funkcí řady ABB REX/REF [8] .....	41
Tabulka 5-2 Tabulka možné konfigurace ochrany PHxPTOC [8] .....	42
Tabulka 5-3 Tabulka možné konfigurace ochrany EFxPTOC [8].....	45
Tabulka 5-4 Tabulka možné konfigurace ochrany EFPADM [8] .....	47
Tabulka 5-5 Tabulka možné konfigurace ochrany WPWDE [8].....	48
Tabulka 5-6 Tabulka Podporované ochranné funkce jednotky RTU7M [8] .....	49
Tabulka 5-7 Tabulka možné konfigurace Obecné nadproudové ochrany [8].....	51
Tabulka 5-8 Tabulka možné konfigurace Konduktanční zemní ochrany [8] .....	52
Tabulka 5-9 Tabulka možné konfigurace Wattmetrická zemní ochrany [8] .....	53
Tabulka 8-1 Tabulka změřených hodnot .....	68
Tabulka 8-2 Tabulka změřených hodnot .....	72
Tabulka 8-3 Tabulka změřených hodnot .....	75

# Úvod

V poslední době se zvyšují požadavky na elektrickou energii, která se využívá v různých oblastech průmyslu a domácností. Využívají se také modernější technologie k výrobě elektrické energie. Přibývají různé menší i větší zdroje elektrické energie, vznikají nové průmyslové komplexy, města se rozrůstají o nové části.

Se zvyšujícími požadavky na výrobu elektrické energie rostou i požadavky na přenosovou a distribuční soustavu. A to zejména na spolehlivost a bezporuchový stav elektrizační soustavy. Nežádoucí stavy mají omezit ochrany před úrazem elektrickým proudem. Jejich správné požití je klíčové pro bezpečnou dodávku elektrické energie. Různé ochrany slouží k ochraně majetku a zejména k ochraně zdraví a života obyvatel.

Ochranný terminál v dnešní době nezastává pouze ochrannou funkci, ale slouží jako komplexní zařízení/řídící jednotka chráněného objektu, umožňuje uživateli ovládat jednotlivé silové prvky, zobrazovat průběhy jednotlivých veličin.

Teoretická část se zabývá nejnovější ochranou od firmy ABB REX640, základním popisem terminálu po stránce HW a popisem jednotlivých bloků ochrany využitelných ve vývodových polích rozvaděčů.

Pro porovnání ochrany ABB REX640 byla zvolena modulární jednotka RTU7M od české firmy Elvac a.s., která také nabízí vybrané ochranné funkce.

Jsou porovnány jednotlivé parametry, způsoby nastavení, uživatelské vlastnosti a na závěr také k praktickému porovnání na modelu sítě 22 kV.

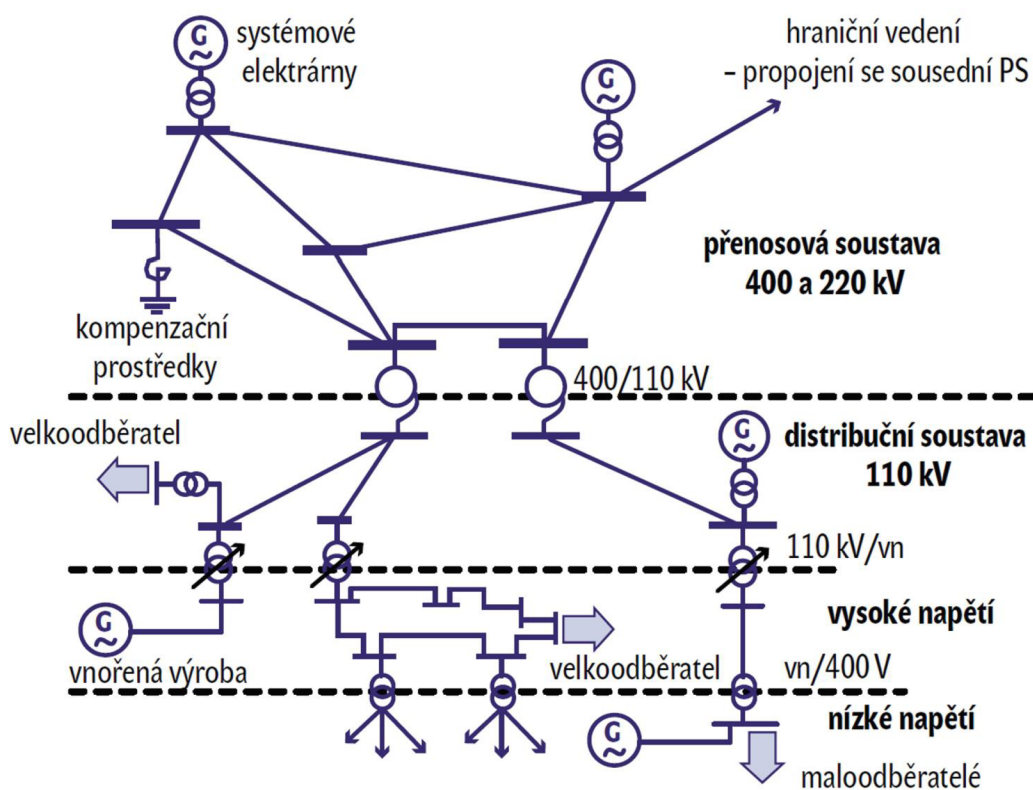
# 1. ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA

Elektrizační soustavu (ES) tvoří jednotlivé zařízení zapojené do jednoho velkého celku. Jednotlivé části tvoří:

- výroby – tepelné, jaderné, vodní, fotovoltaické elektrárny
- elektrická síť – slouží jako propojovací článek mezi výrobou a spotřebou
- spotřebiče – zařízení na přeměnu elektrické energie na mechanickou práci, tepelnou energii, světlo.

**Tabulka 1-1 Tabulka napěťových úrovní v elektrizační soustavě ČR**

Napěťová úroveň	Zkratka	Jmenovitá napětí [kV]	Použití
Nízké napětí	NN	0,4	Distribuční soustava
Vysoké napětí	VN	3, 6, 10, 22, 35	Distribuční soustava
Velmi vysoké napětí	VVN	110, 220	Distribuční, přenosová soustava
Zvláště vysoké napětí	ZVN	400	Přenosová soustava



**Obr. 1-1 Uspořádání elektrizační soustavy [1]**

## 1.1 Přenosová soustava

Účelem této nadřazené soustavy je přenos elektrické energie od výroby k distributorům. Slouží tedy k propojení uzlů, ke kterým jsou připojeny různé výrobní, a uzlů, ze kterých je elektrická energie dál přenášena distribuční soustavou.

Soustava je v České republice provozována okružně a je propojena s přenosovými soustavami sousedních států což vede ke zvýšené stabilitě a spolehlivosti dodávky elektrické energie. Soustava je propojena s Evropskou sítí provozovatelů přenosových soustav elektřiny (ENTSO-E).

K soustavě jsou přes stanice paralelně připojeny výrobní velkých a větších výkonů, a to zejména jaderné, klasické tepelné, plynové i velké vodní elektrárny. Využívá se především venkovní vedení se jmenovitým napětím 400 kV, 220 kV a vybraná vedení 110 kV. Celková délka vedení činí 3735 km z toho je 1371 km dvojitě a vícenásobné vedení (ke dni 10. 12. 2019). [4]

O provoz, rozvoj a údržbu nadřazené soustavy se stará společnost ČEPS, a.s., jejímž jediným akcionářem je stát Česká republika.

## 1.2 Distribuční soustava

Tato distribuční soustava slouží k rozvodu elektrické energie spotřebitelům, tj. k napájení průmyslových objektů, domácností v požadované kvalitě a množství.

Distribuční soustava tvoří hlavní část elektrizační soustavy, je napájena zejména z uzlů přenosové soustavy a výroben menšího výkonu, tj. větrné, kogenerační, bioplynové, fotovoltaické a vodní elektrárny. Tyto výrobní menšího výkonu, mají výkonové výkyvy, způsobující v sítích distribuční soustavy potíže a mají vliv na její celkovou stabilitu.

Páteří sítí tvoří distribuční soustava na napěťové hladině VVN 110 kV, která je provozována paprskovým nebo průběžným způsobem. Pro zvýšení spolehlivosti dodávky umožňuje topologie i okružní provoz.

Na tuto síť navazuje distribuční soustava na napěťové hladině 35 kV v severní části východních Čech. V ostatních oblastech je používána zejména hladina 22 kV. V menších distribučních oblastech nebo podnicích i 10 kV nebo 6kV.

Do této soustavy patří i hladina NN 400V sloužící pro distribuce elektrické energie pro domácnosti.

Na provozu distribuční soustavy České republiky se podílejí společnosti ČEZ Distribuce, a.s (převážná část ČR), E.ON Distribuce, a.s. (jižní Čechy a Morava) a PRE distribuce, a.s. (Praha).

Způsob provozu jednotlivých napět'ových hladin distribuční soustavy se odvíjí od způsobu uzemnění uzlu transformátoru. V běžném bezporuchovém provozu při symetrické zátěži se způsob uzemnění neprojeví.

Při poruše se každý způsob uzemnění projevuje jinak a z toho plynou i různé požadavky na dimenzování, chránění, bezpečnost a spolehlivost dodávky.

**Tabulka 1-2 Principiální řešení sítí jednotlivých napět'ových úrovní**

Jmenovité napětí [kV]	Uspořádání rozvoru	Provoz uzlu transformátoru
400, 220, 110	Okružní, paprskový	Účinně uzemněný
10, 22, 35	Průběžný, paprskový, (obvykle s možností spojení do okruhu)	Neúčinně uzemněný většinou kompenzovaný
6		Neúčinně uzemněný, nebo izolovaný
0,4/0,23	Průběžný, paprskový, mřížová síť	Účinně uzemněný s vyvedeným středním vodičem

### 1.2.1 Venkovní vedení

Používají se zejména kombinovaná lana AlFe nebo slitinové vodiče připevněné pomocí izolátorů odpovídajících parametrů na příhradových stožárech, betonových nebo dřevěných sloupech. Vedení má menší kapacitu oproti kabelovému vedení. Poruchy na tomto vedení jsou převážně dočasněho charakteru (atmosférický výboj, spadlá větev) a jsou také jednodušeji vyhledatelné.

### 1.2.2 Kabelové vedení

Používají se izolované jedno nebo vícežilové kabely uložené v zemi nebo na stožárech. Vedení má asi 30ti násobně větší kapacitu oproti vedení s holými vodiči. Poruchy na tomto vedení jsou trvalého charakteru (porušení izolace vedoucí ke zkratu, překopnutí kabelu bagrem). Poruchovost je menší, ale je také porucha hůře vyhledatelná.

### 1.3 Způsoby provozu uzlu sítě

V sítích propojených se zemí přímo (Obr. 1-2 a) či přes uzlový odporník (Obr. 1-2 d) vzniká při vodivém spojení se zemí jednofázový zkrat, který je charakteristický vysokou hodnotou poruchového proudu, jež může ohrozit bezpečnost osob nebo vést k destrukci energetických zařízení. Je nutné postižený úsek okamžitě při poruše odpojit od zdroje.

V sítích izolovaných (Obr. 1-2 b) nebo neúčinně uzemněných (Obr. 1-2 c) přes kompenzační tlumivku vzniká při stejné jednofázové poruše jednofázové zemní spojení, při němž je hodnota poruchového proudu mnohem menší než při jednofázovém zkratu, ale současně zde dochází ke zvýšení napětí nepostižených fází, které poté více namáhají izolace vodičů. Tyto sítě lze provozovat do doby samovolného odeznění poruchy nebo do doby vyhledání a odstranění poruchy.



Obr. 1-2 Příklady možných způsobů uzemnění nulového bodu soustavy. [1]

#### 1.3.1 Sítě izolované

Jako izolované (Obr. 1-2 b) se provozují menší sítě VN od 6 kV do 35 kV, kde kapacitní proud nepřesahuje 20 A, ale doporučuje se již od hodnoty 10 A již kompenzace zemních proudů.

Uzel vinutí transformátoru není uzemněn. Při jednofázovém zemním spojení je mezi uzlem transformátoru a zemí fázové napětí a to má za důsledek že se na fázích objeví napětí ve velikosti sdruženého napětí. Z toho plyne povinnost dimenzovat tyto sítě na sdružené napětí

#### 1.3.2 Sítě účinně uzemněné

Tyto sítě (Obr. 1-2 a) se u nás provozují na hladině VVN (110 kV, 220 kV a 400kV) a většina sítí NN (400 V). Nulové body transformátorů jsou uzemněny přímo se zemí.

Fázové vodiče (izolace) jsou dimenzovány na fázové hodnoty napětí, což je výhodné z ekonomického hlediska



### **1.3.3 Síť kompenzované**

Nulový bod transformátoru (Obr. 1-2 c) je spojený se zemí přes zhášecí tlumivku. Ta má za úkol kompenzovat kapacitní proudy při zemním spojení. To má za důsledek, že poruchovým místem prochází pouze zbytkový (reziduální) proud. Tento zbytkový proud tvoří 3 % - 10 % z celkového kapacitního proudu. V případě zemního spojení lze takto provozovat síť s kapacitním proudem:

- *do 100 A u venkovního vedení,*
- *do 300 A u smíšených sítí a*
- *do 450 A u kabelových vedení.*

### **1.3.4 Síť uzemněné přes rezistenci**

Nulový bod je spojen se zemí pomocí rezistoru. Ten má za úkol, při jednofázovém zemním spojení, jako u kompenzovaných sítí omezovat poruchový kapacitní proud. Dochází k omezení přepětí v síti, ale je nutné okamžité vypnutí postiženého úseku vedení. Používá se u rozsáhlých kabelových vedení.

## 2. PORUCHY V ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ

Důležitá je plynulost dodávky elektrické energie. Ta je nejčastěji přerušena v distribuční soustavě z důvodu zemního spojení. Spojení se může dělit podle typu spojení na:

- *Kovová ZS - hodnota přechodového odporu  $R_P \rightarrow 0\Omega$ ,*
- *Oblouková ZS - hodnota  $R_P$  je v řádu několika jednotek  $\Omega$ ,*
- *Odporová ZS - hodnota  $R_P$  je v řádu několika set  $\Omega$ . ZS s  $R_P > 1000\Omega$  se považují za vysokoodporová ZS,*

nebo podle doby trvání na:

- *Mžiková ZS - do 0,5 s,*
- *Krátkodobá ZS - do 5 min,*
- *Přerušovaná ZS - jedná se o mžiková nebo krátkodobá ZS, která se po sobě několikrát opakují,*
- *Trvalá ZS - od 5 min až do okamžiku odstranění poruchy (i několik hodin)*

### 2.1 Nebezpečné dotykové a krokové napětí

Dotykové napětí vzniká na lidském těle jako důsledek dotyku s částí pod napětím. Krokové napětí vzniká v blízkosti zemniče nebo na zem spadlého vodiče, při průchodu poruchového proudu zemí. Je to zvláštní případ dotykového napětí, kdy člověk překlene svým krokem (uvažuje se velikost kroku 1m) rozdíl potenciálu mezi dvěma místy v blízkosti zemniče nebo na zem spadlého vodiče.

### 2.2 Zkratky v elektrizační soustavě

V elektrizační soustavě můžeme brát zkrat jako elektromagnetický přechodový děj trvajícím určitý časový úsek.

Zkrat vznikne náhlým snížením impedance mezi jednotlivými vodiči nebo mezi vodičem a zemí případně mezi fázovými a středním vodičem. Zkrat zanikne odpojením poruchového úseku od zdroje napájení.

Zkrat dělíme v elektrizační soustavě podle typu spojení v místě poruchy mezi fázovými vodiči, zemí nebo středním vodičem na:

- **zkratky dokonalé** (kovové), dokonalé spojení vodičů (zanedbatelný přechodový odpor),
- **zkratky nedokonalé** s hořícím obloukem nebo jiným nedokonalým spojem.

Zkratky dokonalé způsobují největší elektromagnetické účinky a z toho důvodu se na tento proud dimenzují vodiče.

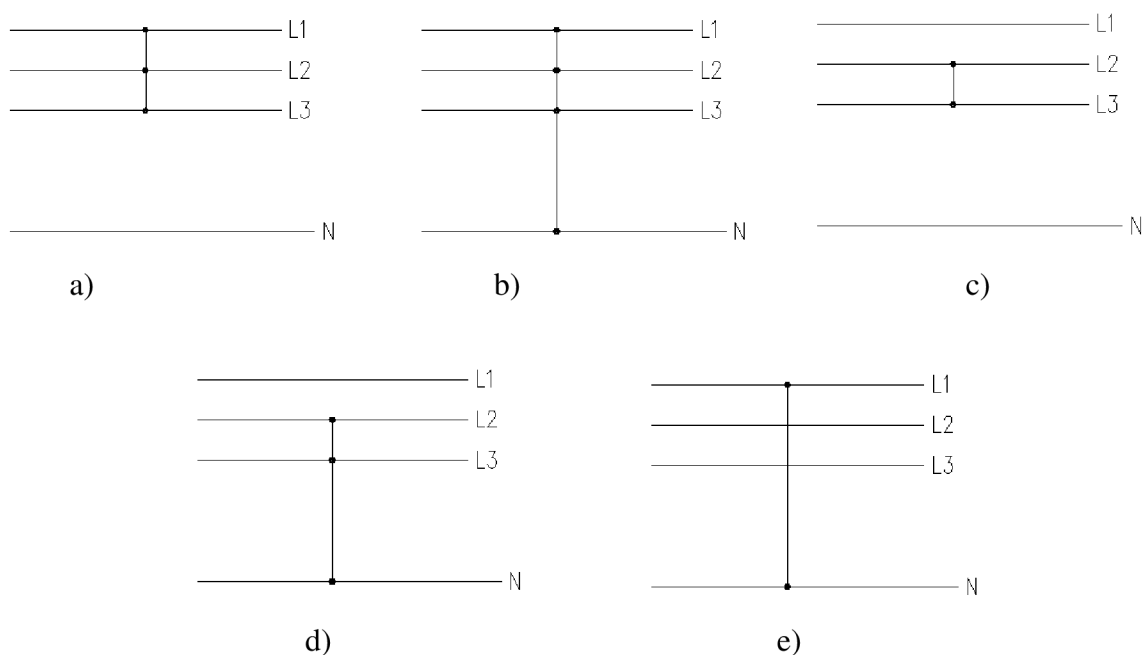
U nedokonalých zkratů je možné riziko vzniku požáru od místa poruchy.

Možné příčiny vzniku zkratu:

- mechanické poškození izolace, například poškození při zemních pracích, nebo přetržení,
- chybná manipulace,
- znehodnocení izolace způsobené vlhkostí, stářím,
- poškození zvýšeným elektrickým namáháním, například úderem blesku,

Rozdělení podle způsobu zatěžování:

- **zkraty souměrné:**
  - o třífázové (Obr. 2-1 a),
  - o třífázové zemní (Obr. 2-1 b),
- **zkraty nesouměrné:**
  - o dvoufázové (Obr. 2-1 c),
  - o dvoufázové zemní (Obr. 2-1 d),
  - o jednofázové (Obr. 2-1 e),



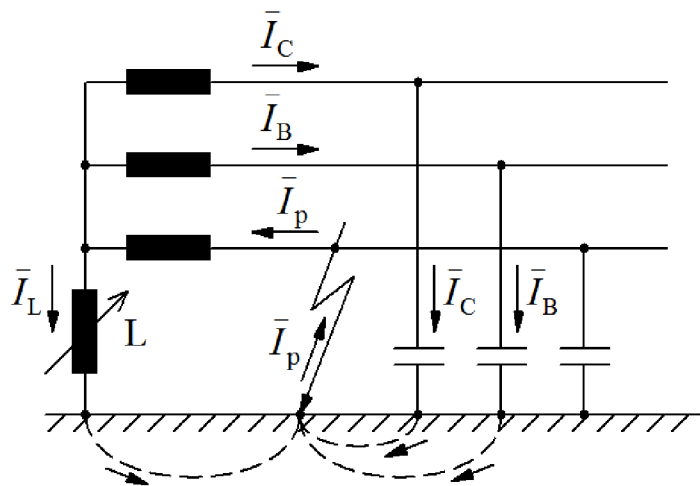
**Obr. 2-1 Druhy zkratů [3]**

Nejčastěji se u venkovního vedení vyskytuje jednofázový zkrat z 90% a více. U kabelových vedení převládá třífázový a třífázový zemní zkrat. U kabelových vedení také většina jedno a dvoufázových zkratů přechází z důsledku tepelných účinků na třífázový zkrat.

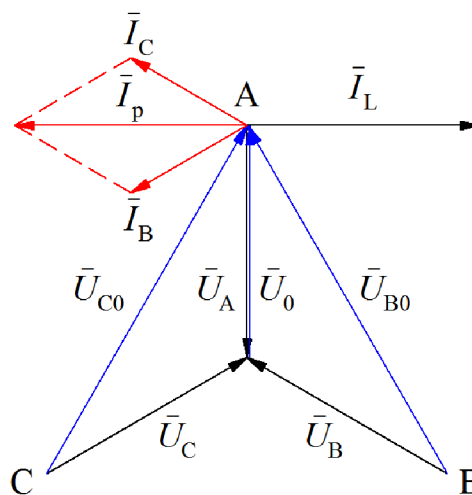


### 3.1.1 Zemní spojení v síti kompenzované zhášecí tlumivkou

Využívá ke snížení poruchových proudů, induktivní proud tlumivkou má opačnou fázi proti kapacitním proudům. Tlumivka kompenzuje kapacitní proud vedení během poruchy.



Obr. 3-3 Schématické znázornění sítě se zhášecí tlumivkou při ZS [1]



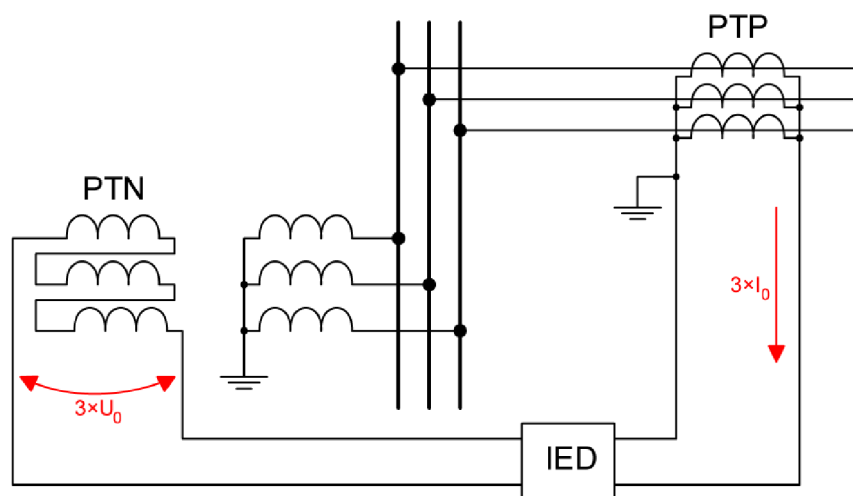
Obr. 3-4 Fázorový diagram pro zemní spojení v bodě A [1]

## 3.2 Metody identifikace vývodu se zemní poruchy

Podle způsobu provozu uzlu se využívají různé vhodné metody pro identifikaci zemního spojení.

K identifikaci vzniku zemního spojení se používá pozorování netočivé složky  $U_0$ . Napětí  $U_0$  můžeme změřit pomocí soustavy měřících transformátorů napětí zapojených do otevřeného trojúhelníku. V účinně izolovaných sítích se i měří netočivá složka proudu  $I_0$ , ta slouží k identifikaci vývodu, kde se porucha nachází.

Netočivá složka proudu  $I_0$  se měří buď pomocí součtového zapojení transformátorů, nebo jedním přístrojovým transformátorem napětí obepínající všechny tři fáze.



Obr. 3-5 Měření netočivých složek napětí  $U_0$  a proudu  $I_0$ . [6]

Toto zapojení slouží pouze k identifikaci výskytu zemního spojení v síti, není selektivní. Netočivá složka napětí  $U_0$  při zemním spojení je téměř stejná v celé síti bez ohledu na místo měření.

Ochrana vyhodnocuje zemní spojení při změně  $U_0$  nad danou mez, v praxi 15 až 20 %  $U_f$ .

Pro identifikaci zemního spojení v rozsáhlejších sítích a s větším poruchovým proudem se používají následující metody, které můžeme rozdělit do dvou skupin.

### Aktivní metody

U této metody se používá speciálně generovaný signál, který se vysílá do sítě a uzavírá se smyčkou v místě poruchy. Následným vyhodnocením tohoto signálu lze poměrně přesně určit místo poruchy. Přesnost metody je závislá celkové kapacitě vedení a odporu poruchy. Platí závislost, že čím je vedení rozsáhlejší tím je i přesnost metody menší.

U kompenzovaných sítí se využívá proudového signálu s rezonanční frekvencí. Dojde-li k poruše, je signál utlumen a poměrným útlumem na vývodech lze určit postižený vývod. [8]

#### **Pasivní metody**

Používají pouze signál z napěťových a proudových snímačů způsobený poruchovým proudem, nevyužívají žádný speciální signál.

Pasivní metody můžeme ještě rozdělit na:

**statické metody** – vyhodnotí poruchu po skončení přechodového děje

**dynamické metody** – vyhodnotí poruchu v průběhu přechodového děje.

Aktivní metody nejsou v praxi moc využívány z důvodu nutnosti generátoru pomocného signálu s omezenou kapacitou. [8]

### **3.3 Dynamické metody**

#### **3.3.1 Metoda první půl-periody**

Vyhodnocuje se oscilografický průběh netočivé složky proudu a napětí během první půlperiody. Kdy dochází v postiženém vývodu z důvodu vybíjení kapacity vedení k otočení fáze netočivé složky napětí a proudu. Tato metoda je vhodná pro kompenzované sítě.

#### **3.3.2 Metoda qu-diagramu**

Tato metoda využívá měření vybíjení kapacity postiženého vývodu.

*Metoda vyhodnocuje grafickou závislost netočivé složky proudu (představující náboj  $q_0$ ) na netočivé složce napětí. [6]*

#### **3.3.3 Metoda qu<sup>2</sup>-diagramu**

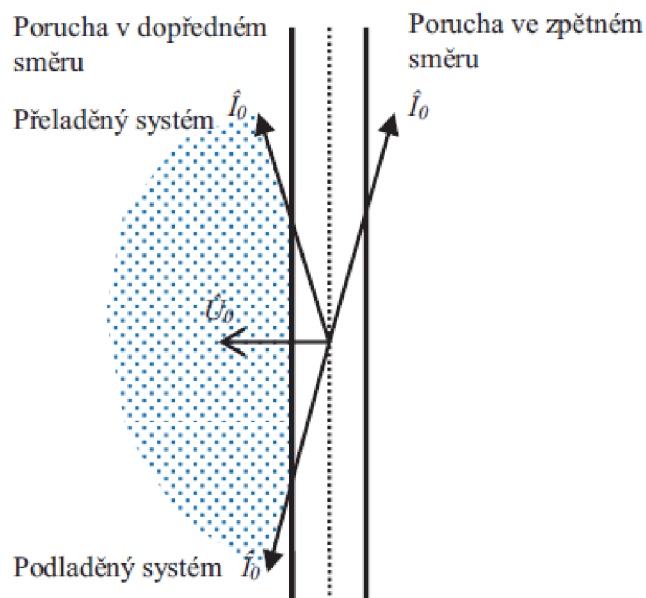
Jedná se o vylepšenou předchozí metodu qu-diagramu, kde se využívají pro zpřesnění ochrany filtry netočivých složek proudu a napětí způsobené provozní nesymetrií sítě.

## 3.4 Statické metody vhodné pro kompenzované sítě

### 3.4.1 Metoda detekce činné složky netočivého proudu

Tato metoda se používá jako základní identifikační metoda v sítích s uzlem uzemněným neúčinně přes kompenzační tlumivku. Nazývá se také jako Wattmetrická metoda.

Využívá se toho, že nikdy nelze dokonale vykompenzovat poruchový proud a vždy zůstává zbytkový proud (činného charakteru). Ten má opačný směr (netočivý proud) než vývod bez poruchy. Na přesnost má vliv chyba měření fáze přístrojového transformátoru napětí. Z tohoto důvodu se krátkodobě připojuje paralelně k tlumivce odporník.



Obr. 3-6 Charakteristika wattmetrického článku [1]

### 3.4.2 Admitanční metoda netočivé složky

Během zemního spojení se změní i admitance postiženého vedení. Tato metoda porovnává stav před a během poruchy. Jako postižený vývod označí ten, u kterého je největší změna netočivé složky admitance.

### 3.4.3 Konduktanční metoda

Metoda je založena na stejném principu jako admitanční. Ale rozdílně se vyhodnocuje směr poruchy, kde se počítá pouze s konduktance z netočivé složky proudu a napětí.



### **3.4.4 Konduktanční metoda s měřením přírůstku**

Tato metoda je založena na stejném principu jako konduktanční, ale počítá se přírůstky netočivých složek proudu a napětí před a během poruchy. Tím se eliminuje vliv nesymetrického zatížení vývodu.

### **3.4.5 Metoda vyšších harmonických**

Využívá se metoda měření vyšších harmonických složek poruchového proudu (nejčastěji 3., 5. a 7.). Z důvodu zvýšení přesnosti se jednotlivé složky sčítají a poruchový vývod je označen s maximální amplitudou.

## **3.5 Statické metody vhodné pro izolované sítě**

### **3.5.1 Porovnání amplitudy netočivé složky proudu**

Metoda porovnává amplitudy netočivých složek proudu v jednotlivých vývodech. Při překročení přednastavené meze, porovná ochrana amplitudy na jednotlivých vývodech, úsek s největší amplitudou se označí jako postižený. Tato základní metoda není však příliš citlivá když se celková kapacita sítě blíží kapacitě postiženého vývodu.

### **3.5.2 Porovnání fáze netočivé složky proudu**

U této metody se porovnávají fáze netočivé složky proudu jednotlivých vývodů a platí, že vývod s poruchou má opačnou fázi netočivé složky proudu. Přesnost je závislá na proudové symetrii sítě a velikosti přechodového odporu sítě. Proto se používá s kombinací metody porovnávání amplitudy, kde se nejdřív identifikuje postižený vývod a poté se porovnají směry fází jednotlivých netočivých složek proudu.

### **3.5.3 Určení toku netočivé složky jalového výkonu**

U této metody porovnávají netočivé složky napětí a proudu na vývodu. Při bezporuchovém provozu se složka napětí opožďuje o  $90^\circ$  za netočivou složkou proudu, naproti tomu během zemního spojení složka napětí předbíhá o  $90^\circ$  netočivou složkou proudu. U této metody není potřeba porovnávat jednotlivé vývody mezi sebou. Opět je zde problém s citlivostí u krátkých vývodů s malými hodnotami netočivých složek.

### 3.5.4 Maximální změna jalové složky netočivého proudu

Tato metoda porovnává referenční hodnotu netočivých složek napětí a proudu, kterou jsou identifikované jednotlivé vývody v bezporuchovém stavu.

Během zemního spojení se určí vývod jako poruchový s maximální změnou jalové složky.

**Tabulka 3-1 Tabulka možného využití ochran v různých typech sítí. [7]**

Druh Ochrany	Způsob zapojení neutrálního bodu					
	Izolovaný	Uzemněný přes tlumivku bez automat. připnutí SO	Uzemněný přes tlumivku s automat. připnutím SO	Uzemněný přes rezistor	Paralelní systém uzemnění tlumivky a rezistoru	Uzemnění přes tlumivku nebo rezistor
$U_0 >$	+	+	+	+	+	+
Směrová na činnou složku $P_0 >$	/	/	+	+	+	+
Směrová na činnou složku $Q_0 >$	+	/	/	/	/	/
$I_0 >$	*	#	#	+	+	+
$Y_0 >$	*	*		+	+	+
$G_0 >$ , nesměrová	/	/	+	+	+	+
$G_0 >$ , směrová	/	/	#	#	#	#
$B_0 >$ , směrová	+	/	/	*	*	*

+ ... použití je vždy možné

/ ... použití není možné

\* ... použití možné s omezujícími podmínkami

# ... použití možné s omezujícími podmínkami ve výjimečných situacích

## 4. OCHRANY PŘI ZEMNÍCH SPOJENÍCH

V dnešní době se používají již převážně digitální ochrany, nahradily dříve používané elektromechanické, přibližně v 80. letech.

Základ tvoří mikroprocesor, který v reálném čase zpracovává hodnoty jednotlivých proudů a napětí. Tyto zařízení dnes mají širší funkci a může být integrována například ve vývodové ochraně rozvaděče. Podobná kompaktní zařízení se označují jako multifunkční nebo také jako IED (podle výrobce ABB z angl. Intelligent Electronic Device - inteligentní elektronické zařízení).

Digitální zpracování přináší větší přesnost a možnosti nastavení jednotlivých integrovaných funkcí. Nabízí také možnost sběru dat při poruše a následnou zpětnou analýzu nebo dispečerského přenosu dat na řídicí dispečink.

## 4.1 Ochrana ABB REX 640

Ochrana ABB REX 640 je nejmladší ochrana z řady Relion. Je navržena jako modulární, což znamená, že jednotlivé vstupní/výstupní a měřicí vstupy jsou tvořeny do bloků, které lze snadno vyměnit či nakonfigurovat dle přání zákazníka.

Což přináší výhodu snadné změny konfigurace HW při změně požadavku zákazníka a finanční a časovou úsporu.



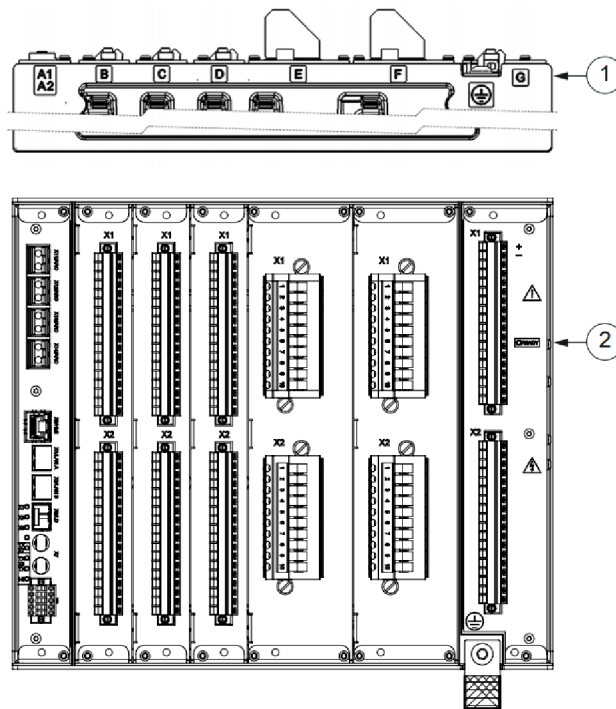
Obr. 4-1 Ochrana ABB REX 640. [8]

System je koncipován jako multifunkční a pro zjednodušení a zefektivnění používání jsou různé základní využití a funkce uskupeny do nejvíce užívaných bloků.

Tato ochrana nabízí různé možnosti využití od Ochrany vývodu, Ochrany distribučních transformátorů, Ochrany asynchronních a synchronních strojů, Ochrany kondenzátorových baterií, Ochrany přípojnic, Automatické synchronizace generátorových nebo vývodových vypínačů, Regulace Petersenových tlumivek po Zábleskové ochrany se sebekontrolou.

### 4.1.1 Základní vlastnosti a možnosti HW

Jak již bylo řečeno, ochrana ABB REX 640 je koncipovaná jako modulární. Do základního šasi se instalují vstupně/výstupní či měřicí karty dle požadované konfigurace.



**Obr. 4-2 Pohled na jednotlivé karty ochrany ABB REX 640. [8]**

Šasi má 8 možných pozíc pro karty (A1, A2, B, C, D, E, F a G), každá pozice má povolené kompatibilní karty pro různé využití (viz následující tabulka).

**Tabulka 4-1 Tabulka možné konfigurace ochrany ABB REX 640 [8]**

Modul	slot							
	A1	A2	B	C	D	E	F	G
ARC1001	o							
COM1001-5		●						
BIO1001			●	o	o			
BIO1002			●	o	o			
BIO1003						o		
BIO1004						o		
RTD1001				o	o			
AIM1001						o	●	
AIM1002						o	●	
SIM1001						o	●	
PSM1001								●
PSM1002								●
PSM1003								●

● povinné použití jedné z možných karet

o volitelné použití

## 4.1.2 Popis testované jednotky

Pro otestování funkcí jsem měl k dispozici ochranu ABB REX640 osazenou v testovacím rámu.

Testovaná ochrana měla *Composition Code*, udávající možné balíčky aplikací a HW konfiguraci jednotlivých I/O karet:

*REX640B10NN+APP1+APP2+APP3+APP4+APP5+APP6+APP7+APP8+APP9+APP10+APP11+APP12+APP13+ADD1+ADD2+COM4+BI01+RTD1+BI02+SIM1+AIM1+PSM2+CMP2+LNG1+MCT2+SCT3+PCL1*

S uživatelem jednotka komunikuje lokálně pomocí dotykového 7“ LCD - LHMI (Local Human Machine Interface).

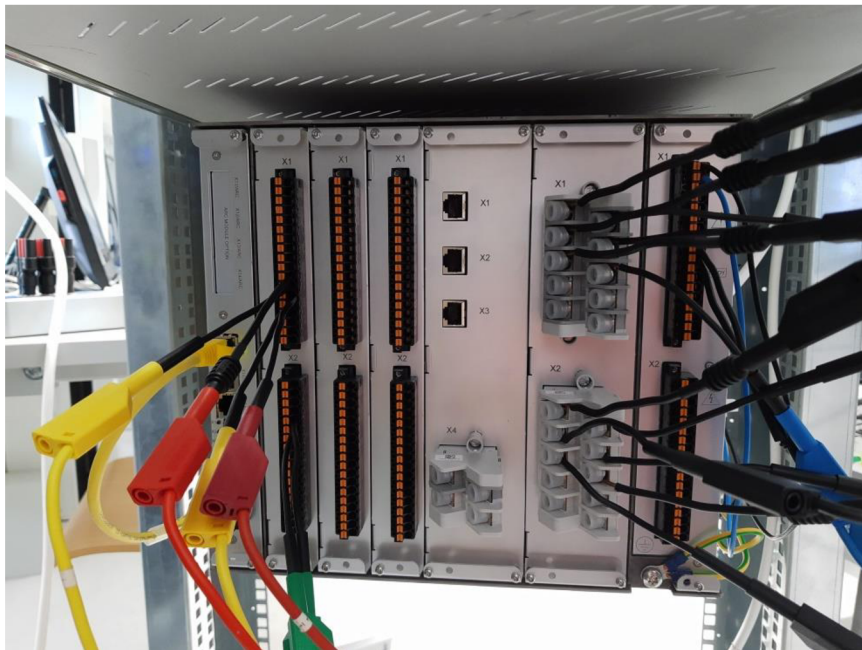
**Technical Key: AA1K1A01A1**

### Technické parametry relé:

šířka	304 mm
výška	264,8 mm
hloubka	274 mm
hmotnost	6,9 – 8,8 kg (dle konfigurace)

### Technické parametry LHMI:

šířka	212,5 mm
výška	177,5 mm
hloubka	57,6 mm
hmotnost	1,6 kg



Obr. 4-3 Pohled na jednotlivé karty testované ochrany ABB REX 640.

Jednotlivé karty se liší dle způsobu použití ochrany počtem vstupů/výstupů, měřícím rozsahem daným typem použitých přístrojových transformátorů proudu a napětí, nebo komunikačními porty umožňující komunikaci s nadřazeným systémem.

#### 4.1.2.1 Napájecí karta

Osazena byla ve slotu G napájecí karta **PSM1002** s dvojitou možností napájení (AC/DC), pro napájení byl použit jištěný vývod (230 V AC/ 10 A) zkušebního rámu.

##### Technické parametry napájecí karty:

nominální napájecí napětí  $U_n$ : 80 až 250 V DC nebo  
100 až 240 V AC (50 nebo 60 Hz)  
pomocné napětí: 38 – 110 %  $U_n$  (38 - 264 V AC)  
80 – 120 %  $U_n$  (38,4 - 300 V DC)

#### 4.1.2.2 Komunikační karty

Jsou rozděleny podle počtu komunikačních portů a protokolů, opět podle potřeby uživatele, například pro komunikaci mezi více terminály, nebo s nadřazeným systémem SCADA.

**Tabulka 4-2 Komunikační porty jednotlivých karet ochrany ABB REX 640 [8]**

Modul	RJ-45	LC	EIA_485	ST
COM1001	3	-	-	-
COM1002	1	2	-	-
COM1003	-	3	-	-
COM1004	2	-	1	1
COM1005	-	2	1	1

Ve slotu G byla komunikační karta **COM1004**, která sloužila pro komunikaci s LHMI a pro připojení PC s ovládacím SW PCM600. Ostatní komunikační porty zůstaly nevyužité.

#### 4.1.2.3 Karty vstupu a výstupů

Typ karty se rozděluje podle příslušného použití v daném slotu šasi a podle typu výstupu buď s klasickými reléovými výstupy (SO), nebo s rychlými výstupy (SPO) (doba aktivace výstupu je o 4-6ms kratší), které jsou vhodné například pro zábleskové ochrany, ale mají omezené možnosti použití/nastavení.

Slot B byl osazen kartou **BIO1001** ( $14 \times \text{BI} + 8 \times \text{SO}$ ), karta obsahuje 14 pasivních digitálních vstupů (pro signalizaci je potřeba podložit signalizace externím napájecím napětím) a osmi spínacími reléovými výstupy.

Tato karta byla použita pro signalizaci působení ochrany.

Slot D byl osazen kartou **BIO1002** ( $6 \times \text{SPO} + 2 \times \text{SPO} + 9 \times \text{BI}$ )

Technické parametry digitálních vstupů (BI):

Jmenovité napětí	24 – 250 V DC (tolerance +/- 20%)
Odebíraný proud	1,6 – 1,9 mA
Spotřeba	31 – 570 mW

Technické parametry digitálních spínacích reléových výstupů (SO):

Maximální spínané napětí	250 V AC/DC
Maximální trvalý proud	8 A
Maximální zatížení	2000 VA (odporové zatížení, AC)

Technické parametry digitálních spínacích elektronických výstupů (SSO):

Maximální spínané napětí	250 V AC/DC
Maximální trvalý proud	1 A
Maximální zatížení	250 VA (odporové zatížení, AC)
Maximální spínaná frekvence	10 Hz

#### 4.1.2.4 Měřicí karty (analogové vstupy)

Hlavní rozdělení je podle zvoleného typu měření nulové složky, zda se měří přímo nulová složka napětí a proudu samostatným PTD/PTN nebo se měří pouze fázové hodnoty a nulové složky se dopočítávají.

**AIM1001**  $4 \times$  měření I (1/5 A) +  $1 \times$  měření I (pouze reziduální proud 0,2/1 A)  
 $5 \times$  měření U (57 - 240 V)

**AIM1002**  $6 \times$  měření I (1/5 A)  
 $4 \times$  měření napětí (57 – 240 V)

Slot F byl osazen měřicí kartou **AIM1001**, která sloužila k měření jednotlivých fázových napětí a proudů.

**Technické parametry měřicí karty AIM1001:**

Frekvence	50/60 Hz
<u>Proudové vstupy</u>	
Jmenovitý proud $I_n$	1/5 A
přetížitelnost	20 A (trvale) 500 A (1 s)



vstupní impedance	< 20 mΩ
Jmenovitý proud $I_n$	0,2/1 A
přetížitelnost	4 A (trvale) 100 A (1 s)
vstupní impedance	< 100 mΩ
<u>Napěťové vstupy</u>	
Jmenovité napětí	57 – 240 V AC
Dovolené přepětí	288 V AC (trvale) 360 V AC (10 s)

Ve slotu E byla osazena měřící karta **SIM1001** sloužící k měření proudu a napětí z kombinovaných senzorů. Tato karta nebyla využita.

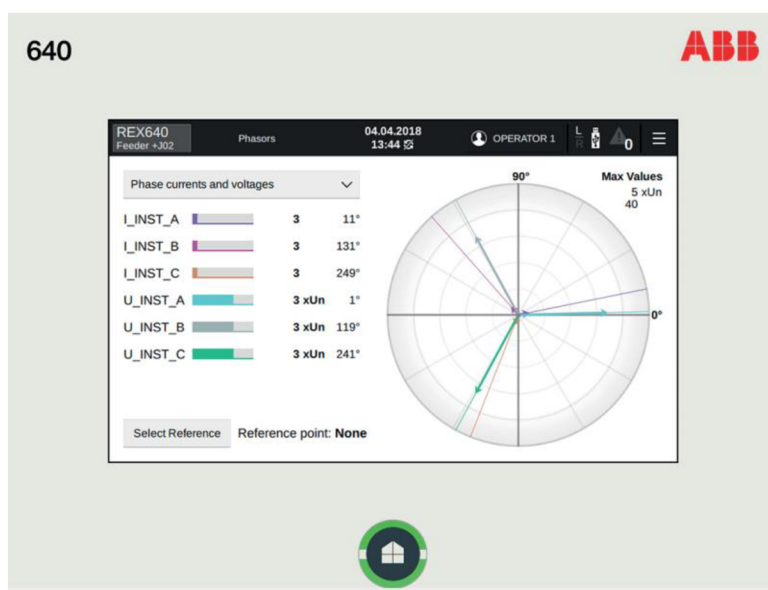
Ve slotu C byla osazena karta RTD1, sloužící k měření teploty pomocí teplotních čidel (10x) a obsahující 2 analogové vstupy výstupy (2 mA). Tato karta nebyla využita.

### 4.1.3 Local HMI (LHMI)

Komunikace uživatele/obsluhy zařízení probíhá pomocí Local HMI, jedná se o dotykovou 7-mi palcovou obrazovku na které se vizualizují různé provozní stavy zařízení nebo jednotlivé fázory měřených veličin.

Uživatel si může snad nastavit zobrazované informace pomocí Graphical Display Editor (GDE) v obslužném programu PCM600.

LHMI je propojen se základním reléovým modulem pomocí kabelu CAT6/FTP zakončený konektory RJ45. Tento způsob umožňuje i vzdálenější umístění LHMI.



Obr. 4-4 Možnost vizualizace fázorů ochrany ABB REX 640. [8]

## 4.2 Modulární řídicí jednotka RTU7M (Elvac a.s.)

Pro porovnání jsem si vybral modulární systém řídicí jednotky RTU7M vyvíjený a vyráběný v Ostravě českou firmou Elvac a.s..

### 4.2.1 Základní vlastnosti a možnosti HW



Obr. 4-5 Osazená jednotka RTU7M-8

Podobně jako u ochrany ABB REX640 se jedná o modulární koncepci, uživatel si může vybrat libovolnou kombinaci jednotlivých nabízených modulů.

Varianta, kterou jsem měl k dispozici, obsahovala pouze základní jednotku s 8-mi pozicemi pro zásuvné moduly (jsou i varianty pro 5, 8, 10 a 16 pozic).

Konkrétní testovaný systém nebyl vybaven žádným vizualizačním zařízením (HMI), které ale však výrobce také jako možnost rozšíření nabízí.

Jednotka RTU7M (výrobní číslo 567185) pro testování byla zapůjčena firmou Dribo, spol s r.o.

#### Technické parametry RTU7M-8:

šířka	280 mm
výška	177,5 mm
hloubka	107,5 mm
hmotnost	3,5 kg

#### 4.2.1.1 Napájecí karta

Jako napájecí karta byla v 1. pozici šasi osazena karta **PWRIC-230 BAT-24/10**, umožňující vstupní napájení napětí 230 V AC a případně i zálohovací napětí 24V realizované záložními akumulátory.

##### Technické parametry

nominální napájecí napětí  $U_n$ :            130 až 360 V DC nebo  
90 až 260 V AC (47 až 63 Hz)

#### 4.2.1.2 Komunikační karta

Slouží pro komunikaci se vzdáleným počítačem nebo řídicím serverem lze zvolit síť GSM (GPRS, EDGE), LTE, UMTS, LAN (Ethernet), nebo rozhraní RS-232, RS-485, optiku. Typ komunikace lze snadno změnit výměnou komunikačních modulů.

Jako napájecí karta byla v 2. pozici šasi osazena karta COMIO-P2 LTE, obsahující komunikační rozhraní:

COM1 radiový modul s LTE a GSM/(E)GPRS  
COM2 nastavitelná sběrnice RS-232, RS-422 nebo RS-485  
COM3 nastavitelná sběrnice RS-232, RS-422 nebo RS-485  
COM4 Ethernet 10/100 Mbs,

#### 4.2.1.3 Karty vstupů a výstupů

Ve 4. slotu byla osazena vstupní aktivní karta **DI20-UAM**, v testované konfiguraci sloužící k signalizaci stavu silového prvku na modelu sítě VN a signalizaci působení ochrany ABB REX 640. Karta má aktivní vstupy (20 vstupů), to znamená, že pro signalizaci vstupu stačí spojit kontakty a není zapotřebí externí napájení.

V 5. slotu byla osazena výstupní karta **DO10-U** použita pro ovládání silového prvku na modelu VN sítě. Modul obsahuje 8 spínacích a 2 spínací/rozpínací kontakty relé.

##### Technické parametry digitálních spínacích reléových výstupů:

Maximální spínané napětí            250 V AC/DC  
Maximální trvalý proud            8 A  
Maximální zatížení            2000 VA (odporové zatížení, AC)

#### 4.2.1.4 Měřicí karta

V poslední 8. pozici se měřicí karta **EP-3U/100/120 3I/1-5A/10A-I**, karta má 3 napěťové a 3 proudové vstupy. Karta obsahuje zapisovač poruchových záznamů a různé ochranné funkce.

##### **Technické parametry:**

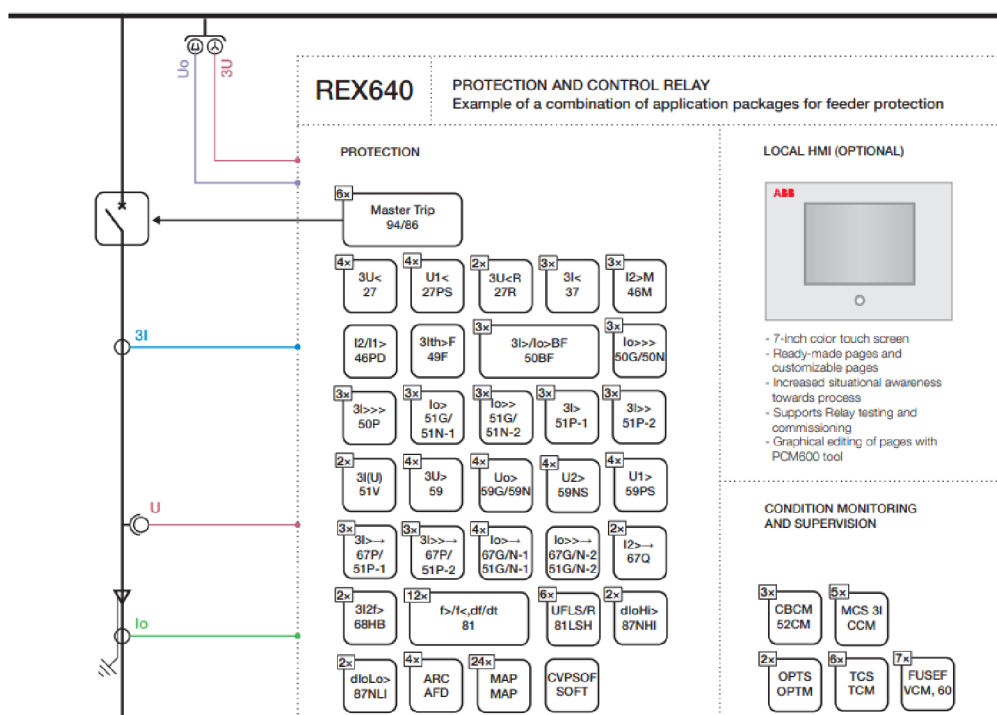
Frekvence	50/60 Hz
<u>Proudové vstupy</u>	
Jmenovitý proud $I_n$	1 A
přetížitelnost	10 A (1 minuta) 100 A (1 s)
<u>Napěťové vstupy</u>	
Jmenovité napětí	100 V AC
Dovolené přepětí	120 V AC (trvale)

### 4.3 srovnání HW vybavení

Oba systémy mají podobnou modulární koncepci HW, portfolio dostupných modulů u obou systémů pokryje požadavky projektanta. ABB REX640 nabízí univerzálnější moduly, to dohání RTU7M větším množstvím nabízených modulů. Takže se jeví ABB REX640 jako více „univerzálnější“, ale téměř vždy se vybírá zařízení na konkrétní aplikaci a HW se zvolí dle požadavků. Oba výrobci garantují náhradní díly po celou dobu životnosti zařízení.

## 5. SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ

Jednou z možností uplatnění těchto systémů v praxi je využití všech jeho řídicích a ochranných funkcí v rozvodných zařízeních. Například v kompaktních rozvaděčích v trafostanicích nebo spínacích stanicích v distribučních sítích 22 kV nebo 35 kV.



Obr. 5-1 Ukázka možnosti zapojení ochrany ABB REX 640. [8]

### Řídicí a manipulační funkce:

Uživatel může pomocí terminálu obsluhovat jednotlivé motorově ovládané spínací prvky (například výkonový vypínač, odpojovač (realizován výsuvným podvozkem), uzemňovač a měřicí transformátory proudu a napětí) na vývodu rozvaděče.

### Blokační funkce:

Terminál umožňuje využít jednotlivé blokační podmínky, ať už mezi prvky jednoho vývodu nebo mezi jednotlivými prvky rozvaděčové sestavy.

### Ochranná funkce:

Lze využít celé škály ochran. Ochrana využívá třífázových měřících transformátorů napětí na hlavní přípojnici, třífázových měřících transformátorů proudu

vývodu a měřicího transformátoru proudu pro zemní proud  $I_0$ , který je převlečen přes všechny tři fázové vodiče.

**Vizualizační funkce:**

Obsluha má okamžitou možnost kontroly stavu silových prvků, protékajícím proudem vývodu či velikosti napětí v systému. Z fázorových diagramů může být například zřejmé nesymetrické zatížení vývodu.

## **5.1 Funkční principy ochrany**

Každá ochranná funkce má dané kódové označení ANSI dané normou ANSI/IEEE C37.2-2008. Vedle dvoumístného číselného označení bývá ještě doplněna písmenem určující například typ používané sítě (N – neúčinně uzemněná), nebo typ chráněného objektu (G – generátor, T – transformátor, M – motor, S -stator).

## 5.2 SW vybavení ochrany ABB REX 640

Ochrana ABB REX 640 nabízí různé ochranné funkce seskupené do programových balíčků, které si může uživatel vybrat dle požadavků pro dané nasazení ochrany.

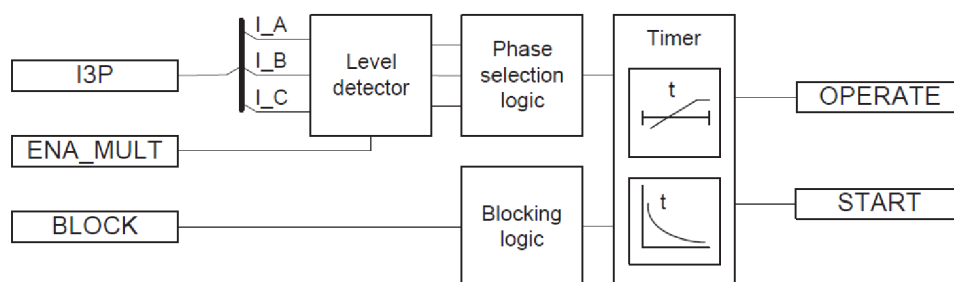
K podrobnému popsání byly vybrány bloky ochran, které obsahuje i systém RTU7M od firmy Elvac a.s., aby mohlo dojít k následnému praktickému porovnání.

**Tabulka 5-1 Tabulka porovnání ochranných funkcí řady ABB REX/REF [8]**

Ochranné funkce	IEC 61850	REX640	REF620	REF630	REF615
Funkce zapnutí do poruchy (SOF)	CVPSOF	X	X		
Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším nastavením	PHLPTOC	X	X	X	X
Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším nastavením	PHHPTOC	X	X	X	X
<b>Třífázová nesměrová nadproudová ochrana, mžikový stupeň</b>	<b>PHIPTOC</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Třífázová směrová nadproudová ochrana, stupeň s nižším nastavením	DPHLPDOC	X	X	X	X
Třífázová směrová nadproudová ochrana, stupeň s vyšším nastavením	DPHHPDOC	X	X	X	X
Nesměrová zemní ochrana, stupeň s nižším nastavením	EFLPTOC	X	X	X	X
Nesměrová zemní ochrana, stupeň s vyšším nastavením	EFHPTOC	X	X	X	X
Nesměrová zemní ochrana, mžikový stupeň	EFIPTOC	X		X	X
Směrová zemní ochrana, stupeň s nižším nastavením	DEFLPDEF	X	X	X	X
Směrová zemní ochrana, stupeň s vyšším nastavením	DEFHPDEF	X	X	X	X
<b>Zemní admitanční ochrana</b>	<b>EFPADM</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Multifrekvenční zemní admitanční ochrana	MFADPSDE	X	X		
<b>Zemní wattmetrická ochrana</b>	<b>WPWDE</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Ochrana při přechodné / přerušované zemní poruše	INTRPTEF	X	X	X	X
Zemní ochrana vyhodnocující harmonické složky	HAEFPTOC	X	X		X
Nadproudová ochrana vyhodnocující zpětnou složku proudu	NSPTOC	X	X	X	X
Ochrana při fázové nevyváženosti	PDNSPTOC	X	X		X
Přepětová ochrana vyhodnocující nulovou složku	ROVPTOV	X	X	X	X
Třífázová podpětová ochrana	PHPTUV	X	X	X	X
Třífázová přepětová ochrana	PHPTOV	X	X	X	X
Přepětová ochrana, vyhodnocení sousledné složky	PSPTOV	X		X	
Podpětová ochrana vyhodnocující souslednou složku	PSPTUV	X	X	X	X
Přepětová ochrana vyhodnocující zpětnou složku	NSPTOV	X	X	X	X
Frekvenční ochrana	FRPFRQ	X	X		X
Třífázová napětově závislá nadproudová ochrana	PHPVOC	X	X		
Třífázová ochrana proti tepelnému přetížení vývodů, kabelů a distribučních transformátorů	T1PTTR	X	X	X	X
Ztráta fáze (podproudová funkce)	PHPTUC	X	X		

## 5.2.1 Třífázová nesměrová nadproudová ochrana PHxPTOC

Třífázová nesměrová mžiková nadproudová ochrana nastavuje popud při překročení dané proudové meze a za nastavený časový úsek, jednotlivé typy se liší stupněm možnosti nastavení velikosti (násobku) nadproudu a typem pracovní charakteristiky.



Obr. 5-2 Funkční schéma ochrany PHIPTOC

Při překročení nastavené meze *Start value* ( $xI_n$ ) a podle nastavení počtu po postižených fázích (1 z 3, 2 ze 3, nebo 3 ze 3) jde popud dále k aktivaci časovače (timer). Zde se aktivuje výstup START podle typu nastavené vypínací charakteristiky a času zpoždění (operate delay time). Pokud časovač dosáhne nastavených hodnot času, aktivuje OPERATE výstup, který dává pokyn vypínači. Když porucha zmizí před dosažením nastaveného času (operate delay time), časovač se resetuje.

Tabulka 5-2 Tabulka možné konfigurace ochrany PHxPTOC [8]

Parametr	Funkce	Hodnota (Rozsah)	Krok
Popudová hodnota	PHLPTOC	0,05...5,00 × I <sub>n</sub>	0,01
	PHHPTOC	0,10...40,00 × I <sub>n</sub>	0,01
	PHIPTOC	1,00...40,00 × I <sub>n</sub>	0,01
Násobící časový faktor	PHLPTOC	0,05...15,00	0,005
	PHHPTOC	0,05...15,00	0,005
Čas zpožděného působení	PHLPTOC	40...200000 ms	10
	PHHPTOC	40...200000 ms	10
	PHIPTOC	20...200000 ms	10
Typ pracovní charakteristiky	PHLPTOC	Nezávislé nebo závislé časové zpoždění Typ charakteristiky: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19	
	PHHPTOC	Nezávislé nebo závislé časové zpoždění Typ charakteristiky: 1, 3, 5, 9, 10, 12, 15, 17	
	PHIPTOC	Nezávislé časové zpoždění	

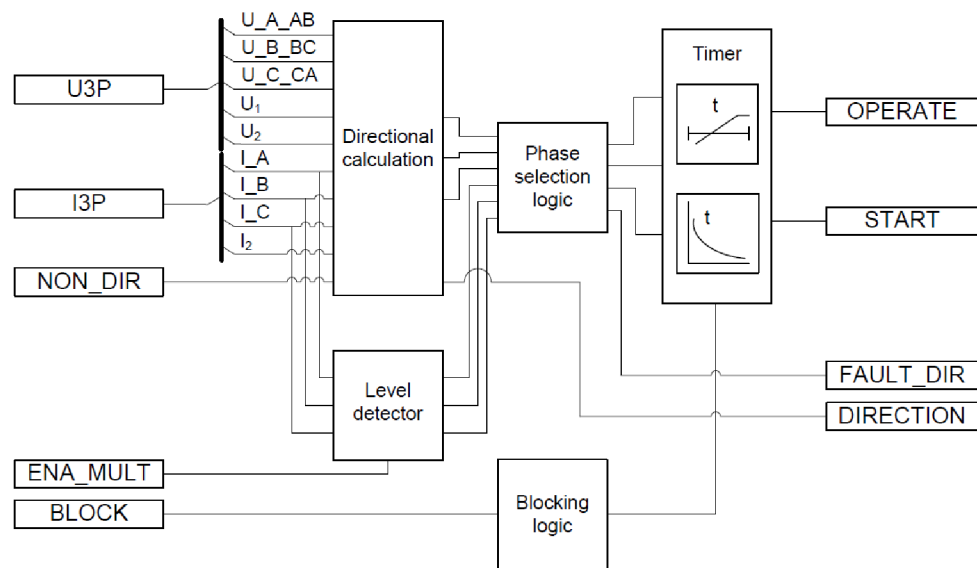


## 5.2.2 Třífázová směrová nadproudová ochrana (DPHxPDOC)

Nastavení toho bloku ochran je shodné s třífázovou nesměrovou nadproudovou ochranou (PHxPTOC), jen je u této ochrany možná volba směru měření ochrany a to:

- 1 = Non-directional (Nesměrové měření)
- 2 = Forward (Dopředné měření)
- 3 = Reverse (Zpětné měření)

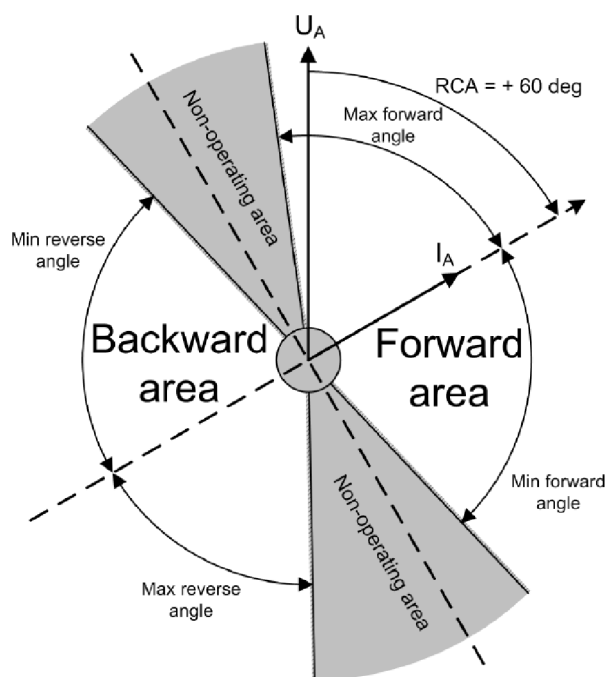
U směrové ochrany je typická doba potřebná zjištění popudu přibližně 2,5 krát násobná oproti nesměrové ochraně. Protože je potřeba k zjištění směru poruchy znát nejen hodnoty proudu, ale i napětí.



Obr. 5-3 Blokové schéma směrové ochrany DPHxPDOC [8]

### Popis principu blokového schématu:

K určení směru poruchy ochrana využívá fázové posunutí mezi proudem a polarizační proměnnou. Jaká polarizační proměnná bude použita, určuje nastavená metoda polarizace. Výpočet úhlu poruchového proudu lze provést čtyřmi různými metodami polarizace (positive sequence voltage, negative sequence voltage, self polarization, cross polarization). Když měřená hodnota proudu překročí nastavenou hodnotu, blok *level detector* pošle signál do bloku *phase selection logic* a když je splněn i směr *Directional calculation*, pak dojde k aktivaci časovače (timer). Zde se aktivuje výstup START podle typu nastavené vypínací charakteristiky a času zpoždění (operate delay time). Pokud časovač dosáhne nastavených hodnot času, aktivuje OPERATE výstup, který dává pokyn vypínači. Když porucha zmizí před dosažením nastaveného času (operate delay time), časovač se resetuje.



Obr. 5-4 Směrová charakteristika pro účinně uzemněnou síť [8]

#### **Nastavení směrové charakteristiky:**

Podle typu provozované sítě se nastavuje charakteristický úhel (*Characteristic angle*) – natáčí směrovou charakteristiku. Pro účinně kompenzovanou síť se volí  $0^\circ$  a síť účinně uzemněnou  $60^\circ$ .

### **5.2.3 Nesměrová zemní ochrana (EFxPTOC)**

Ochranná funkce je založena na měření netočivé složky proudu  $I_0$ , pokud nastane po překročení nastavené hodnoty podle vybrané časové charakteristiky nebo časově nezávisle.

Funguje na podobném principu jako ochrana PHxPTOC, jen jako vstupní proměnná je porovnávána hodnota reziduálního proudu  $\bar{I}_0$ .

**Tabulka 5-3 Tabulka možné konfigurace ochrany EFxPTOC [8]**

Parametr	Funkce	Hodnota (Rozsah)	Krok
Popudová hodnota	EFLPTOC	0,010...5,000 × In	0,005
	EFHPTOC	0,10...40,00 × In	0,01
	EFIPTOC	1,00...40,00 × In	0,01
Násobící časový faktor	EFLPTOC	0,05...15,00	0,005
	EFHPTOC	0,05...15,00	0,005
Parametr	Funkce	Hodnota (Rozsah)	Krok
Čas zpožděného působení	EFLPTOC	40...200000 ms	10
	EFHPTOC	40...200000 ms	10
	EFIPTOC	20...200000 ms	10
Typ pracovní charakteristiky	EFLPTOC	Nezávislé nebo závislé časové zpoždění Typ charakteristiky: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19	
	EFHPTOC	Nezávislé nebo závislé časové zpoždění Typ charakteristiky: 1, 3, 5, 9, 10, 12, 15, 17	
	EFIPTOC	Nezávislé časové zpoždění	

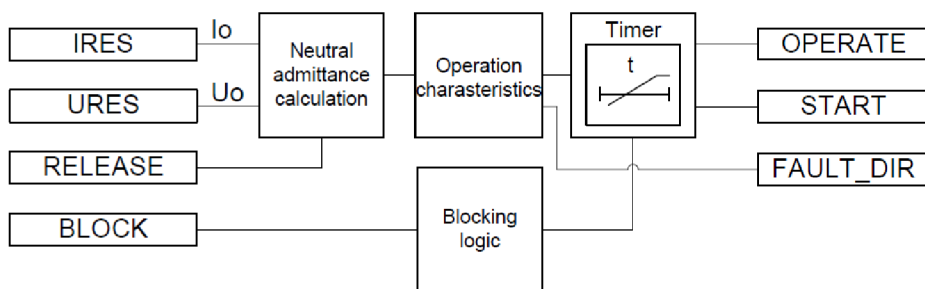
## 5.2.4 Zemní admitanční ochrana EFPADM

Tato ochrana porovnává měřenou admitanci s admitanční charakteristikou. Působení ochrany se nastavit jako dopředné, zpětné nebo nesměrové. V nastavení lze vybrat způsob měření netočivých složek proudu a napětí a to buď přímé měření ( $U_0$ ,  $I_0$ ), nebo numerický výpočet přes měřené fázové hodnoty. V případě že změřené reziduální netočivé napětí ( $U_0$ ) překročí nastavenou prahovou hodnotu, je detekováno ZS.

Lze také nastavit, zda se má vypočítávat admitance z naměřených hodnot, nebo z jejich přírůstků pro eliminaci vlivu nesymetrie sítě.

Lze ji použít jako hlavní zemní ochranu, nebo jako doplňkovou funkci k zemní směrové ochraně. Mezi hlavní výhody této ochranné funkce patří univerzální použitelnost. Pro výpočet admitance je použit základní vztah:

$$\bar{Y}_0 = \frac{\bar{I}_0}{-U_0} (S; A, V)$$



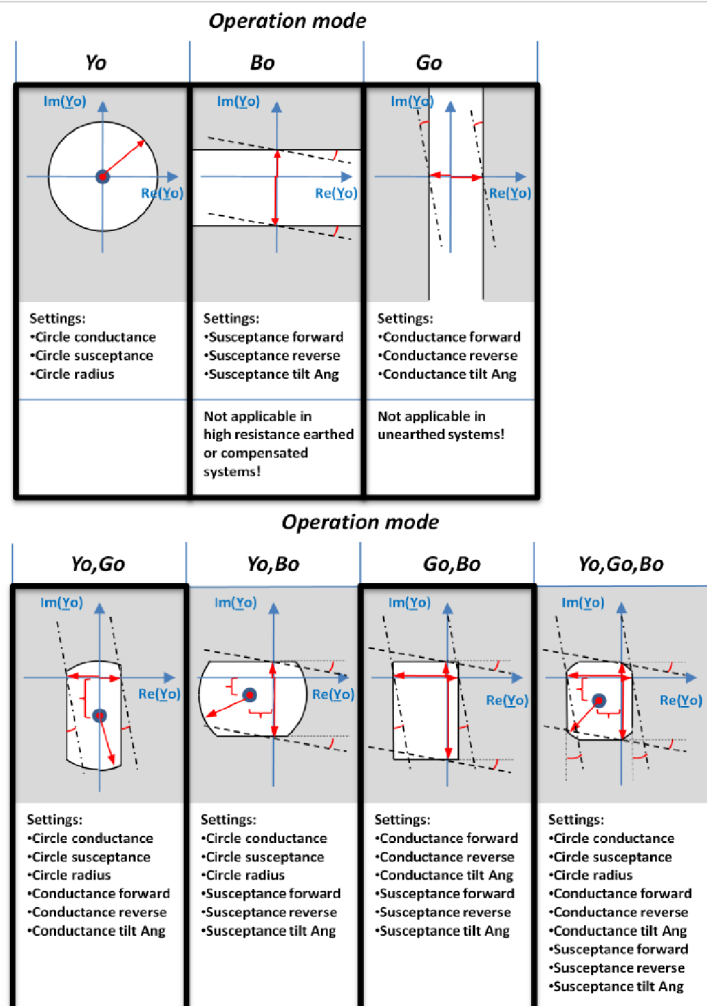
Obr. 5-5 Funkční schéma ochrany EFPADM [8]

Při překročení nasatvené meze *Voltage start value* ( $\overline{U}_0$ ), se vypočte (Neutral admittance calculation) admittance  $\overline{Y}_0$ , která je porovnávána s přednatavenou charakteristikou (Operation characteristics). Dále jde povel k aktivaci časovače (timer). Zde se aktivuje výstup START podle typu nastavené vypínací charakteristiky a času zpoždění (operate delay time). Pokud časovač dosáhne nastavených hodnot času, aktivuje OPERATE výstup, který dává pokyn vypínači. Když porucha zmizí před dosažením nastaveného času (operate delay time), časovač se resetuje.

Jako analogové vstupní proměnné lze použít proud  $\overline{I}_0$  – přímo změřené  $\overline{I}_0$  nebo vypočtené z fázových hodnot proudu  $\overline{I}_1, \overline{I}_2, \overline{I}_3$ . To samé platí i pro napětí  $\overline{U}_0$  - přímo změřené napětí  $\overline{U}_0$  nebo vypočtené z fázových hodnot napětí  $\overline{U}_1, \overline{U}_2, \overline{U}_3$ .

Podle typu využití jdou nastavit meze pro působení ochrany v admitanční rovině. Dají se nastavit susceptanční, konduktanční nebo admitanční meze, případně jejich kombinace.

Výpočet admittance lze přenastavit do módu „Delta“, který odpovídá přírůstkové metodě a admittance je zde vypočtena z hodnot naměřených před poruchou a během poruchy. Tento mód je vhodné použít, pokud síť má vysoký stupeň nesymetrie během zdravého provozního stavu, nebo pokud je měřeno pomocí tzv. Holmgreenova zapojení.



Obr. 5-6 Příklady možných operačních oblastí ochrany EFPADM [8]

**Tabulka 5-4 Tabulka možné konfigurace ochrany EFPADM [8]**

Parametr	Hodnota (Rozsah)	Krok
Popudová hodnota napětí	0,01...2,00 × Un	0,01
Režim směrového měření	1 = Non-directional (Nesměrové měření)	
	2 = Forward (Dopředné měření)	
	3 = Reverse (Zpětné měření)	
Provozní režim	1 = Yo	
	2 = Go	
	3 = Bo	
	4 = Yo, Go	
	5 = Yo, Bo	
	6 = Go, Bo	
	7 = Yo, Go, Bo	
Čas zpožděného působení	60...200000 ms	10
Poloměr kružnice	0,05...500,00 mS	0,01
Kružnice reálné složky admitance	-500,00...500,00 mS	0,01
Kružnice imaginární sl. admitance	-500,00...500,00 mS	0,01
Reálná sl. admitance v dopř. směru	-500,00...500,00 mS	0,01
Reálná sl. admitance ve zpět. směru	-500,00...500,00 mS	0,01
Imaginární sl. admitance v dopř. směru	-500,00...500,00 mS	0,01
Imaginární sl. admitance ve zpět. směru	-500,00...500,00 mS	0,01
Úhel sklonu reálné sl. admitance	-30...30°	1
Úhel sklonu imaginární sl. admitance	-30...30°	1

## 5.2.5 Zemní wattmetrická ochrana WPWDE

Využívá se toho, že nikdy nelze dokonale vykompenzovat poruchový proud a vždy zůstává zbytkový proud (činného charakteru). Ten má opačný směr (netočivý proud) než vývod bez poruchy.

Metoda sleduje činnou část netočivé složky proudu  $\bar{I}_0$ , z toho vychází název metody – dříve se sledovala tato složka wattmetrickým relé.

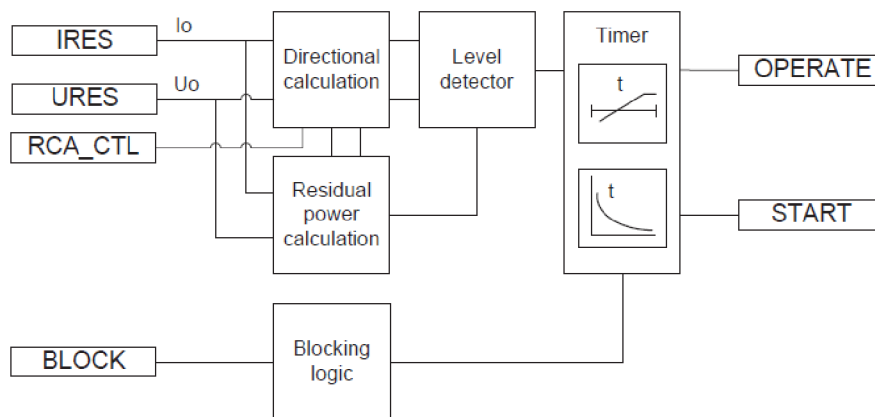
Z důvodu vyhodnocování proudu  $I_0$  je důležité správné použití PTP na jednotlivých fázích, aby nedocházelo špatnému detekování reziduálního proudu. Proto je vhodnější použít průvlekový PTP přes všechny fázové vodiče.

### Popis principu blokového schématu:

WPWDE měří výkon zemního spojení  $3U_0I_0\cos\varphi$  (Residual power calculation) a vydává signál, když zbytkový proud  $\bar{I}_0$ , zbytkové napětí  $\bar{U}_0$  a výkon zemní poruchy překročí charakteristický úhel. V bloku *level detector* jsou porovnávány měřené proudy fází s nastavenou hodnotou *Start value*. Dále jde povel k aktivaci časovače (timer). Zde se aktivuje výstup START podle typu nastavené vypínací charakteristiky a času zpoždění (operate delay time). Pokud časovač dosáhne nastavených hodnot času,

aktivuje OPERATE výstup, který dává pokyn vypínači. Když porucha zmizí před dosažením nastaveného času (operate delay time), časovač se resetuje.

Měření efektivní hodnoty signálu RMS. Dále režim měření číslicově vypočtené základní složky signálu DFT a režim Peak-to-Peak měření mezivrcholové hodnoty signálu.



Obr. 5-7 Funkční schéma ochrany WPWDE

**Tabulka 5-5 Tabulka možné konfigurace ochrany WPWDE [8]**

Parametr	Hodnota (Rozsah)	Krok
Režim směrového měření	2 = Forward (Dopředné měření)	
	3 = Reverse (Zpětné měření)	
Popudová hodnota proudu	0,010...5,000 × In	0,001
Popudová hodnota napětí	0,010...1,000 × Un	0,001
Popudová hodnota výkonu	0,003...1,000 × Pn	0,001
Referenční výkon	0,050...1,000 × Pn	0,001
Základní úhel	-179...180°	1
Násobící časový faktor	0,05...2,00	0,01
Typ pracovní charakteristiky	Nezávislé nebo závislé časové zpoždění Typ charakteristiky: 5, 15, 20	
Čas zpožděného působení	60...200000 ms	10
Minimální pracovní proud	0,010...1,000 × In	0,001
Minimální pracovní napětí	0,01...1,00 × Un	0,01

Jako analogové vstupní proměnné lze použít proud  $\bar{I}_0$  – přímo změřené  $\bar{I}_0$  nebo vypočtené z fázových hodnot proudu  $\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3$ . To samé platí i pro napětí  $\bar{U}_0$  - přímo změřené napětí  $\bar{U}_0$  nebo vypočtené z fázových hodnot napětí  $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3$ .

Protože wattmetrická metoda vychází z fázového posunu mezi  $\bar{I}_0$  a  $\bar{U}_0$  bývá často v dnešních digitálních ochránách integrována jako součást směrové zemní ochrany.

### 5.3 SW vybavení ochrany RTU7M

Vyhodnocování ochran probíhá každých 10 ms, vždy po výpočtu efektivních hodnot. Efektivní hodnoty  $3I_0$  a  $U_0$  jsou počítány ze základní frekvence.

Parametrizace ochran se provádí v aplikaci RTU Uživatelské centrum.

**Tabulka 5-6 Tabulka Podporované ochranné funkce jednotky RTU7M [14]**

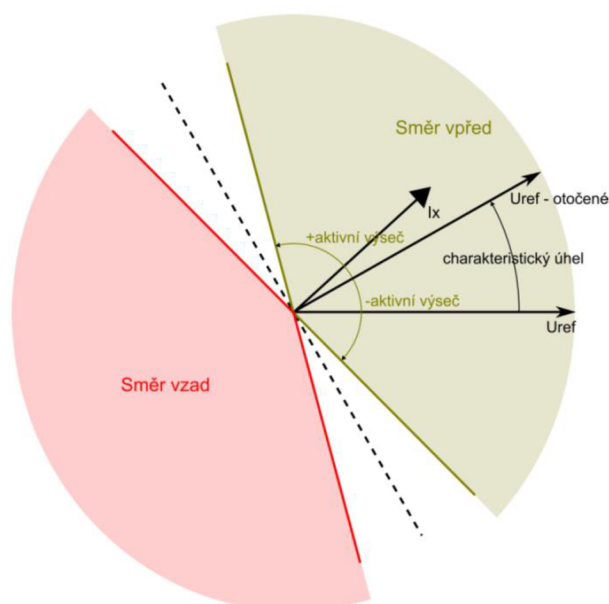
Číslo funkce	Popis
ANSI 46	Proudová nesymetrie
ANSI 47	Napěťová nesymetrie
ANSI 50	Okamžitá fázová nadproudová ochrana
ANSI 51	Časově zpožděná fázová nadproudová ochrana
ANSI 50N	Okamžitá ochrana proti zemnímu zkratu
ANSI 51N	Časově zpožděná ochrana proti zemnímu zkratu
ANSI 67	Směrová fázová nadproudová ochrana
ANSI 67N	Směrová zemní ochrana
ANSI 59	Přepětová mezifázová ochrana
ANSI 59N	Přepětová fázová ochrana
ANSI 27	Podpětová mezifázová ochrana
ANSI 81H	Frekvenční ochrana – vysoká frekvence
ANSI 81L	Frekvenční ochrana – nízká frekvence
ANSI 81R	Frekvenční ochrana – rychlost změny frekvence
	ZS-I – působení impulsní zemní ochrany
	ZS-K – působení konduktanční zemní ochrany
	ZS-R – působení zemní ochrany připnutí R v uzlu TR
	ZS-W – působení wattmetrické zemní ochrany

### 5.3.1 Obecná nadproudová ochrana

Odpovídá ochranným funkcím podle vstupních proměnných: ANSI 50, 51, 67, 50N, 51N, 67N

Každých 10 ms je vyhodnocováno splnění podmínek definovaných v parametrech nadproudové ochrany.

Směrovost ochrany se určuje na základě úhlu mezi proudem a referenčním napětím. Pro fázovou ochranu se jako referenční napětí používá sdružené napětí neobsahující postiženou fázi (viz tabulka níže). Pro zemní ochranu se jako referenční napětí používá  $-\bar{U}_0$ . Je také možné definovat výseč, ve které ochrana působí. Na následujícím obrázku jsou znázorněny oblasti, kdy je porucha vyhodnocena ve směru vpřed (zelená oblast) a kdy je vyhodnocena ve směru vzad (červená oblast). V následující tabulce je uvedeno, které napětí se používá pro poruchy na jednotlivých proudech.



Obr. 5-8 Směrová charakteristika [14]

Pro **Druh ochrany Zemní**, ochrana pracuje s filtrovanou hodnotou  $3I_0$ . Pro nastavení popudů a působení zemní ochrany musí být splněna podmínka dána vybranou charakteristikou (parametr Charakteristika) a dále musí být hodnota napětí  $U_0$  větší než Dolní mez napětí středu  $U_0$ . Pro nulování popudů a působení musí být splněna podmínka dána vybranou charakteristikou a hodnota napětí  $U_0$  musí být menší než 97% z Dolní mez napětí středu  $U_0$ . Postižená fáze je určena na základě hodnoty fázového napětí. Jako postižená fáze je určena fáze s nejnižším fázovým napětím v době zemního spojení.

Pro **Druh ochrany Fázová**, ochrana pracuje s fázovými hodnotami proudu  $\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3$ . Pro nastavení popudů a působení nadproudové fázové ochrany musí být splněna podmínka dána vybranou charakteristikou (parametr Charakteristika).



**Tabulka 5-7 Tabulka možné konfigurace Obecné nadproudové ochrany [14]**

Aktivní	ANO/NE	Povoluje/zakazuje vybranou ochranu.
Zdroj blokování ochrany	Typ + adresa	Typ a adresa signálu, který zakazuje funkci ochrany Meze
Mez proudu IS	0 až IMAX	Mez proudu IS pro definici křivky času v závislosti na hodnotě měřeného proudu.
Čas meze	0 až 655,35 s (Krok 0,01 s)	Čas nastavení působení pro časově nezávislou ochranu. Pokud je nastaven popud v dané fázi po tuto dobu, je nastaven příznak působení ochrany. Tento parametr se uplatní, pokud nejsou povoleny různé časy mezi před OZ a po OZ.
Čas meze před OZ		Čas nastavení působení pro časově nezávislou ochranu. Pokud je nastaven popud v dané fázi po tuto dobu, je nastaven příznak působení ochrany. Tento parametr se uplatní, pokud jsou povoleny různé časy mezi před OZ a po OZ a ještě nezapůsobila automatika OZ.
Čas meze po OZ	0 až 655,35 s (Krok 0,01 s)	Čas nastavení působení pro časově nezávislou ochranu. Pokud je nastaven popud v dané fázi po tuto dobu, je nastaven příznak působení ochrany. Tento parametr se uplatní, pokud jsou povoleny různé časy mezi před OZ a po OZ a již zapůsobila automatika OZ.
Časový násobitel	0 až 2 (Krok 0,01)	Definuje časový násobitel TMS pro časově závislou ochranu.
Zvýšená mez proudu po zapnutí	0 až IMAX	Zpravidla vyšší hodnota proudu, která se použije místo IS, po zapnutí.
Doba platnosti zvýšené meze	0 až 25,5 s (Krok 0,1 s)	Definuje dobu platnosti zvýšené meze po zapnutí.
Napětí povolující zvýšenou mez	0 až UMAX	Zvýšená mez je platná jen, pokud jsou všechna sdružená napětí větší než zadaná mez.
Dolní mez napětí středu U0	0 až UMAX	Tento parametr má význam jen pro zemní ochranu. Překročení zadané meze U0 povoluje činnost zemní ochrany.
Čas nulování	0 až 2,55 s (Krok 0,01 s)	Čas nulování pro časově nezávislou ochranu. Pokud je hodnota měřeného proudu menší než 97% nastavené meze po dobu času nulování, jsou vynulovány příznaky popudů i působení ochrany.
Směrnost ochrany	Nesměrová, Působení vpřed, Působení vzad	Parametrem směrnost ochrany se volí, zda je ochrana nesměrová (působí v obou směrech), nebo působí jen vpřed, nebo působí jen vzad.
Charakteristika	Nezávislá, A až F	Tímto parametrem se volí časová závislost ochrany. Na výběr je časově nezávislá charakteristika, nebo šest standardních časově závislých charakteristik A až F viz tabulka výše.
Filtr	ANO/NE	ANO – ochrana pracuje jen se základní frekvencí, NE – ochrana pracuje s celým spektrem měřené veličiny. Zemní ochrana vždy pracuje s filtrovanou hodnotou 3I0.
Vypnutí ochranou	ANO/NE	Povolení/zakázání vypnutí vybranou ochranou.
Počet OZ při nadproudu	0 až 5	Definuje max. počet opětovných zapnutí po vypnutí touto ochranou.
Různé časy mezi	ANO/NE	Povoluje nastavení různých časů působení před OZ a po OZ.
Druh ochrany	Fázová, Zemní, Zemní citlivá, Zpětná složka	Tímto parametrem se volí vstupy, které jsou vyhodnocovány. Pro fázovou ochranu se pracuje s I1, I2 a I3. Zemní ochrana pracuje nad vypočítaným 3I0. Zemní citlivá ochrana pracuje s přímo měřenou hodnotou 3I0. Pro zpětnou složku se pracuje se zpětnou složkou proudu.
Činný proud	ANO/NE	Povoluje vyhodnocování pouze z činné složky proudu. Platí jen pro zemní ochranu.
Charakteristický úhel	-180 až 180°	Natočení referenční proměnné pro určení směru.
Aktivní výseč	0 až 90°	Slouží pro omezení výseče, ve které působí směrová ochrana.

### 5.3.2 Konduktanční zemní ochrana

Každých 10 ms se kontroluje splnění:

$$U_0 > \text{Mez napětí středu } U_0$$

$$|3I_0 * \cos(\varphi_0) / U_0| > \text{Mez pro svodovou konduktanci.}$$

Když jsou podmínky splněny po dobu Čas kontroly, je nastaven interní status ZS-K. Tento interní status je vynulován, když není splněna alespoň jedna z podmínek pro nastavení interního statusu a zároveň  $U_0$  klesne pod Dolní mez napětí středu  $U_0$  ze společných parametrů.

**Tabulka 5-8 Tabulka možné konfigurace Konduktanční zemní ochrany [14]**

Základní parametry		
Aktivní	ANO/NE	Povoluje/zakazuje vybranou ochranu.
Meze		
Mez napětí středu $U_0$	0 až UMAX	Mez napětí $U_0$ , která musí být překročena, aby mohl být při splnění dalších podmínek nastaven interní status ZS-K.
Mez pro svodovou konduktanci	0 až IMAX/UMAX	Mez konduktance, která musí být překročena, aby mohl být při splnění dalších podmínek nastaven interní status ZS-K.
Čas kontroly	0 až 2,55 s (Krok 0,01 s)	Interní status ZS-K je nastaven, pokud jsou splněny podmínky pro jeho nastavení po dobu definovanou tímto parametrem.
Úhel		
Charakteristický úhel	-180 až 180°	Natočení referenční proměnné ( $-u_0$ ) pro určení směru.

### 5.3.3 Wattmetrická zemní ochrana

Metoda porovnává, zda je splněno:

$$\text{úhel } \varphi_0 < \text{Mez pro úhel } \varphi_0$$

$$\text{nebo } \varphi_0 > (360 - \text{Mez pro úhel } \varphi_0)$$

$$\text{a } U_0 > \text{Mez napětí středu } U_0 \text{ a } 3I_0 > \text{Mez pro svodový proud } 3I_0.$$

Pokud podmínky platí alespoň po dobu Čas kontroly, je nastaven interní status ZS-W. Interní status ZS-W je nulován, když není splněna alespoň jedna z podmínek pro nastavení interního statusu do 1 a zároveň  $U_0$  klesne pod Dolní mez napětí středu  $U_0$  ze společných parametrů.

Když je činný výkon kladný,  $\varphi_0$  je měřeno mezi  $-i_0$  a  $u_0$ . Když je činný výkon záporný,  $\varphi_0$  je měřeno mezi  $i_0$  a  $u_0$ . Pro určení směru činného výkonu se používá průměr za 1s.

**Tabulka 5-9 Tabulka možné konfigurace Wattmetrická zemní ochrany [14]**

Základní parametry		
Aktivní	ANO/NE	Povoluje/zakazuje vybranou ochranu.
Meze		
Mez napětí středu $U_0$	0 až UMAX	Mez napětí $U_0$ , která musí být překročena, aby mohl být při splnění dalších podmínek nastaven interní status ZS-W.
Mez pro svodový proud $3I_0$	0 až IMAX	Mez proudu $3I_0$ , která musí být překročena, aby mohl být při splnění dalších podmínek nastaven interní status ZS-W.
Mez pro úhel $\phi_0$	0 až 180°	Odchylka úhlu $\phi_0$ musí být menší než zadaná hodnota tohoto parametru, aby mohl být při splnění dalších podmínek nastaven interní status ZS-W.
Čas kontroly	0 až 2,55 s (Krok 0,01 s)	Interní status ZS-W je nastaven, pokud jsou splněny podmínky pro jeho nastavení po dobu definovanou tímto parametrem.
Úhel		
Charakteristický úhel	-180 až 180°	Natočení referenční proměnné (-U0) pro určení směru.

## 5.4 Porovnání

SW vybavení jednotlivých jednotek je už rozdílnější. U REX640 je větší možnost detailnějších nastavení, nabízí více funkčních bloků, tím se stává více univerzální. Naproti tomu jednotka RTU7M která je primárně určena pro řízení a sběr dat v distribučních sítích elektrické energie nenabízí tolik pokročilejších ochranných funkcí.

## 6. PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Počítačový program nebo aplikace sloužící ke konfiguraci zařízení. V současné době většina zařízení používá pro komunikaci s PC síťového rozhraní pomocí protokolů TCP/IP. To zjednodušuje uživateli práci, protože nejsou zapotřebí žádné speciální komunikační převodníky.

Ke konfiguraci stačí počítač s příslušným SW vybavením a síťový kabel.

### 6.1 ABB REX640

Ochrana umožňuje komunikaci/nastavení s PC využití webového rozhraní – prohlížeče (WHMI - Web Human Machine Interface), nebo pomocí obslužného SW PCM600 od firmy ABB.

Pro nastavení byla vybrána 2. možnost.

#### 6.1.1 Instalace PCM600

K obsluze ochrany ABB REX640 slouží program PCM600, pro testování byla použita aktuální verze 2.10, která je dostupná po registraci na webových stránkách (<https://new.abb.com/substation-automation/products/tools/pcm600>).

Samotná instalace programu je intuitivní a proběhla bez problému a všechny součásti se nainstalují automaticky (databáze SQL, komunikátor, ...).

Součástí programového balíčku je i *Udpate manager* přes který je zapotřebí před spuštěním stáhnout *Connectivity package* pro danou ochranu (ABB REX640). Tento balíček zajišťuje správnou komunikaci PC a ochranou.

#### 6.1.2 Nastavení připojení

Ochrana nabízí 2 možnosti připojení s PC protokolem IEC 61850 pomocí síťového kabelu a to buď přímo z komunikační jednotky (LAN Port), nebo pomocí portu v čelním panelu (HMI Port)

Pro nastavení jsem použil HMI Port.

Dále je zapotřebí v PC v síťovém nastavení nastavit aby IP adresa byla přiřazována automaticky, po připojení ochrana přiřadí PC příslušnou IP adresu.

V nastavení síťového adaptéru je zapotřebí nastavit získávání adresy IP i adresu serveru DNP automaticky.

Nastavení komunikace:

Otevřeme si nabídku Start -> Ovládací panely -> Centrum Síťových připojení a sdílení -> Změnit nastavení adaptéru -> Vybereme příslušný síťový adaptér -> pravým tlačítkem myši Vlastnosti -> otevřeme Internet protocol (TCP/IP) (version 4) -> nastavíme získat adresu IP i adresu serveru DNP automaticky. Kliknutím na tlačítko OK potvrdíme.

## 6.1.3 Konfigurace

Po úspěšném nastavení sítě, zapnutí ochrany připojením napětím 230V AC na napájecí kartu. Můžeme spustit program PCM600.

Nejdříve je potřeba založit nový projekt, který může seskupovat větší množství konfigurovaných ochran.

**File** -> **New project** -> v *Plant structure* se zobrazí nový projekt.

Dále je zapotřebí v *Plant structure* postupně založit danou jednotku (IED), přes strukturu Substation -> Voltage Level -> Bay -> **REX640**.

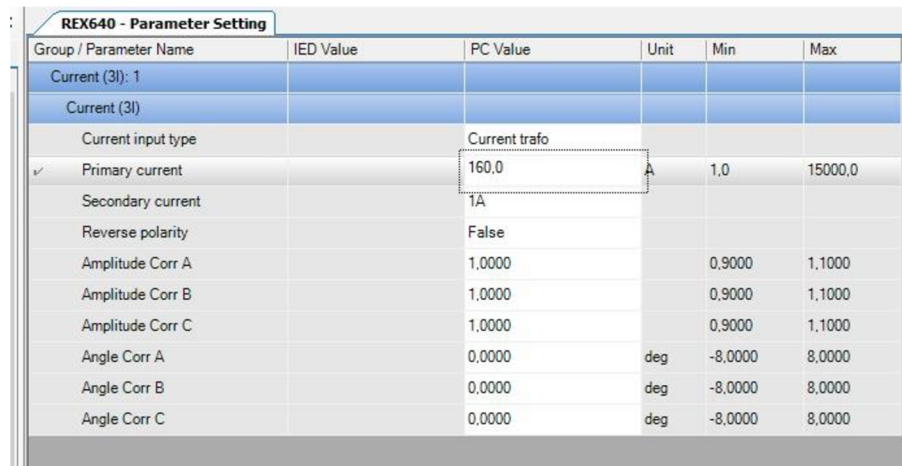
Nyní nastává nastavení projektu podle skutečné konfigurace jednotky následujícími kroky:

- Nastavení konfigurace – *Online configuration*
- Komunikační protokol – IEC61850
- Port – HMI Port
- poté se načte do PC cca během 2 minut konfigurace jednotky
- nakonec dáme dokončit – *Finish*

Při úspěšném nastavení by se měla u popisu jednotky (REX640) objevit zelená fajfka potvrzující úspěšnou komunikaci.

Nyní si ještě nastavíme proudové a napěťové rozsahy měřících karet. Byly použity primární hodnoty z experimentálního modelu.

Nastavení pro proud (**převod 160 A / 1 A**) bylo v stromové struktuře REX640 -> IED Configuration-> Configuration -> Analog inputs -> Current(3I)



Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
Current (3I): 1					
Current (3I)					
Current input type		Current trafo			
✓ Primary current		160,0	A	1,0	15000,0
Secondary current		1A			
Reverse polarity		False			
Amplitude Corr A		1,0000		0,9000	1,1000
Amplitude Corr B		1,0000		0,9000	1,1000
Amplitude Corr C		1,0000		0,9000	1,1000
Angle Corr A		0,0000	deg	-8,0000	8,0000
Angle Corr B		0,0000	deg	-8,0000	8,0000
Angle Corr C		0,0000	deg	-8,0000	8,0000

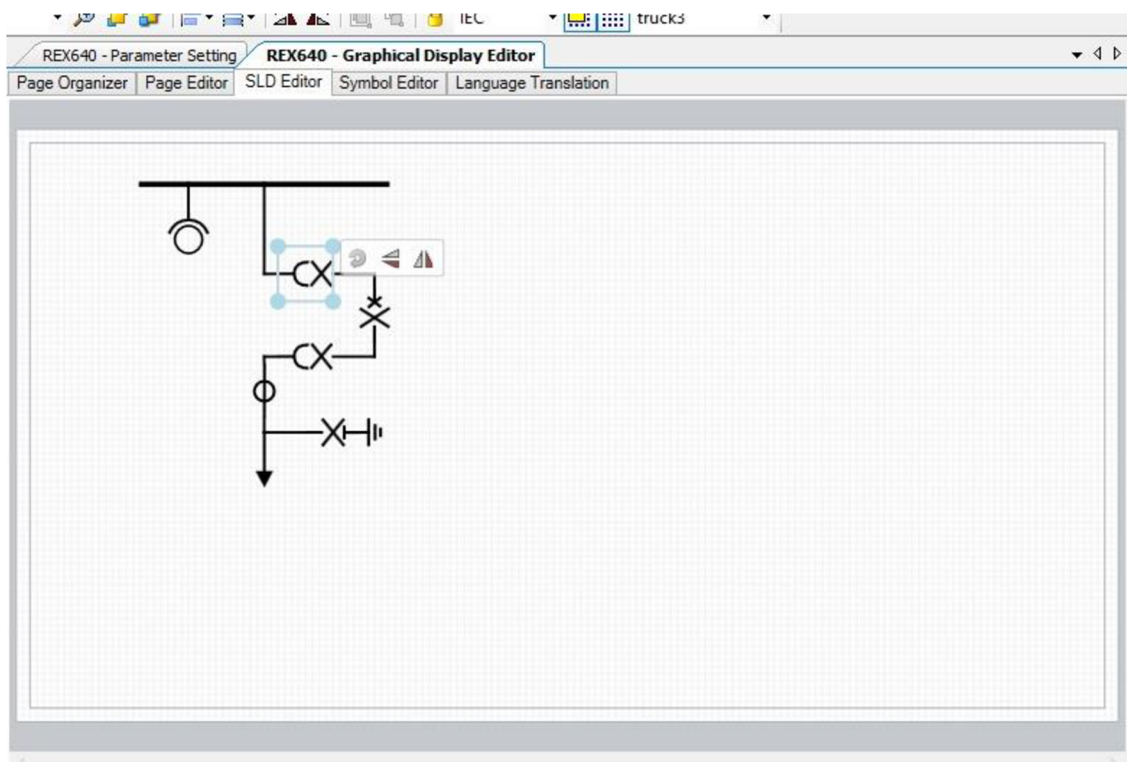
Obr. 6-1 Nastavení proudových rozsahů

Nastavení pro napětí (**převod 22 kV / 100 V**) bylo v stromové struktuře REX640 -> IED Configuration-> Configuration -> Analog inputs -> Voltage(3U)  
VT connection -> Wye – do hvězdy – měří fázovou hodnotu napětí

REX640 - Parameter Setting					
Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
Voltage (3U): 1					
Voltage (3U)					
Voltage input type		Voltage trafo			
✓ Primary voltage		22.000	kV	0.100	440.000
Secondary voltage		100	V	57	240
VT connection		Wye			
Amplitude Corr A		1.0000		0.9000	1.1000
Amplitude Corr B		1.0000		0.9000	1.1000
Amplitude Corr C		1.0000		0.9000	1.1000
Angle Corr A		0.0000	deg	-8.0000	8.0000
Angle Corr B		0.0000	deg	-8.0000	8.0000
Angle Corr C		0.0000	deg	-8.0000	8.0000

Obr. 6-2 Nastavení napěťových rozsahů

Dále je možné nastavení zobrazovacích obrazovek na HMI. V Graphical Display editoru jsem upravil schéma zapojení vývodu dle skutečného zapojení na experimentálním modelu.



Obr. 6-3 Ukázka možné úpravy jednopólového schématu

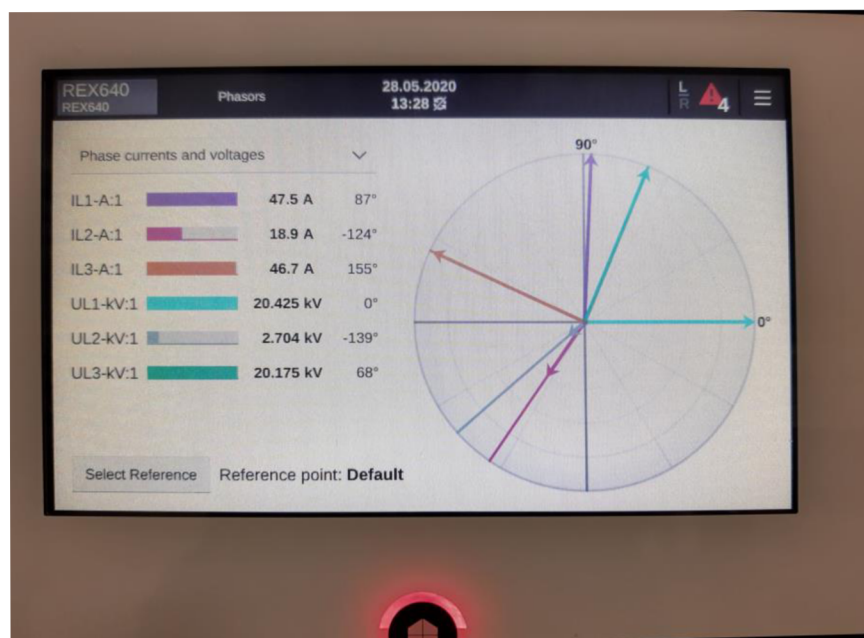


Nyní můžeme nahrát základní konfiguraci do jednotky kliknutím levým tlačítkem na REX640 a vybráním – *Write to IED*. Při správném nastavení a konfiguraci se provede nahrání aktuální verze.

Tímto máme provedené základní nastavení.



Obr. 6-4 Úspěšně nahraná konfigurace do jednotky – svítí zelená LED



Obr. 6-5 Vizualizace fázorů napětí a proudu během poruchy – svítí červená LED

## 6.2 RTU7M

Pro konfiguraci jednotek RTU je možné opět použít webový prohlížeč, nebo obslužný SW ob výrobce jednotky Elvac. K tomu slouží aplikace RTU Uživatelské centrum

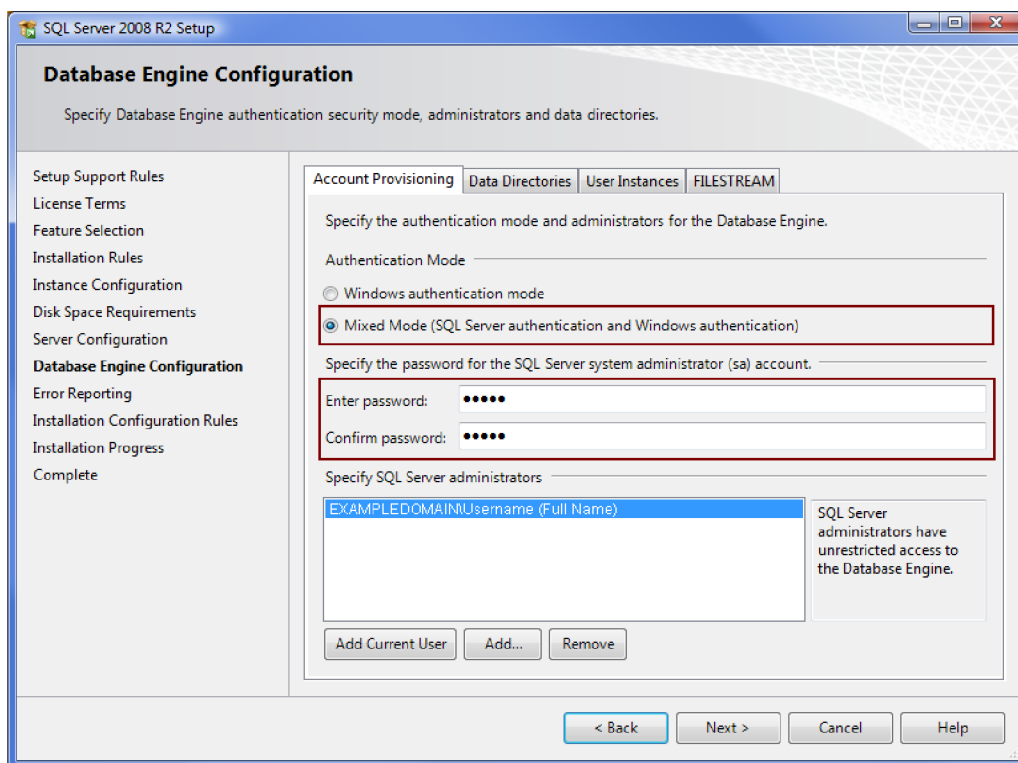
Pro nastavení byla vybrána 2. možnost.

### 6.2.1 Instalace Uživatelského Centra

Program se neinstaluje jako jeden „balíček“, je zapotřebí postupně více aplikací a dodržet daný postup, viz návod výrobce [13].

Nejdříve je zapotřebí mít nainstalovaný MS SQL SERVER EXPRESS 2008 (*SQL\_2008R2\_EXPR\_32\_SP2\_ENU.exe*).

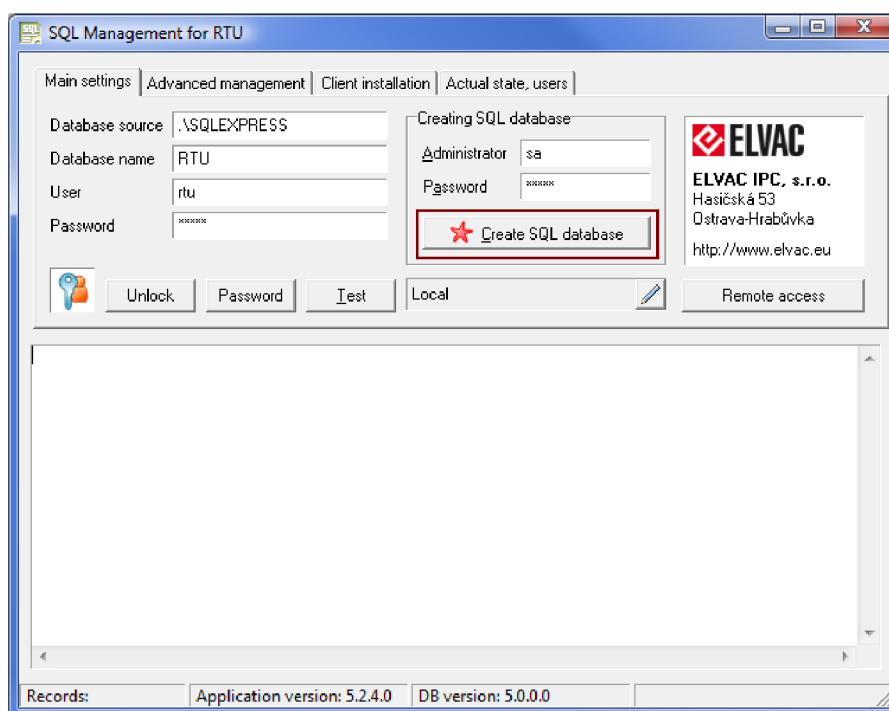
Instalaci provedeme dle pokynů programu, jen v záložce „DATABASE ENGINE CONFIGURATION“ změníme Authentication mode na Mixed Mode a vytvoříme dostatečně silné heslo (min. 12 znaků).



Obr. 6-6 MS SQL SERVER EXPRESS 2008

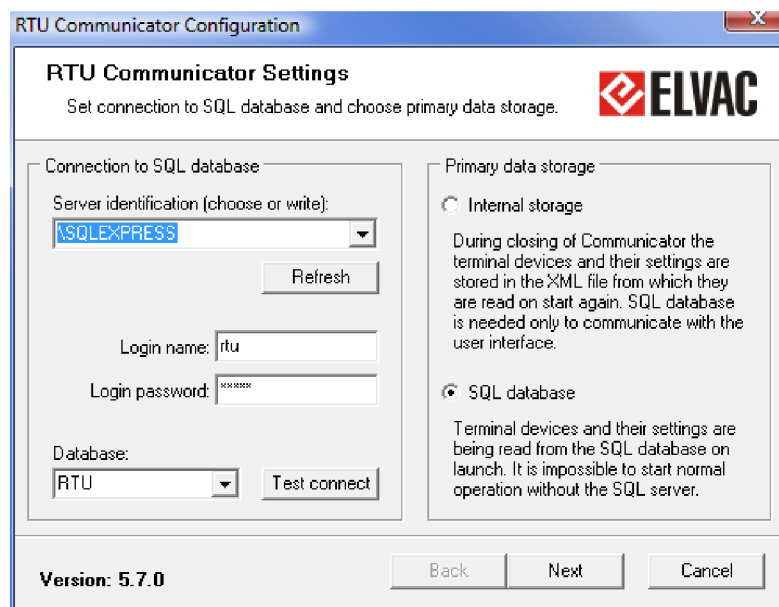


Dále je zapotřebí založit databázi SQL pro RTU, pomocí dalšího programu SQL Management for RTU. Kde použijeme výše uvedené heslo.



Obr. 6-7 SQL Management for RTU

Tím máme úspěšně založenou databázi pro RTU. Dále je zapotřebí nainstalovat komunikátor (RTU Communicator Configuration) sloužící k umožnění práce Uživatelského Centra s databází.



Obr. 6-8 RTU Communicator Configuration

Nakonec můžeme nainstalovat samotný program „RTU Uživatelské centrum“ v aktuální verzi 5.8.14.2.

## 6.2.2 Nastavení připojení

Pro komunikaci jednotky slouží port NET na komunikační kartě RTU7M – COMIO-PC2 LTE. Pro komunikaci slouží opět síťový kabel.

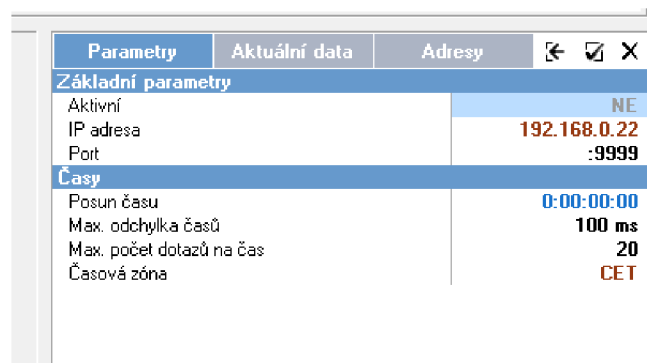
Jednotka je má ve výchozím stavu nastavenou pevnou IP adresu 192.168.0.22, pro úspěšné připojení si musíme v PC také nastavit u daného síťového připojení pevnou IP adresu (např. 192.168.0.100 a masku podsítě 255.255.255.0).

## 6.2.3 Konfigurace

Připojíme jednotku RTU k PC pomocí síťového kabelu a přivedeme napájení (230 V AC) na napájecí kartu jednotky.

Po spuštění programu RTU Uživatelské centrum, můžeme začít s konfigurací jednotky.

V záložce TCP\_client po kliknutí pravým tlačítkem vybereme Přidat nový -> Skupiny -> RTU7\_PC a pomocí „zatržitek“ vybereme požadované signály – tím máme založenou novou jednotku (kterou si můžeme libovolně pojmenovat). Pro správnou komunikaci ještě musíme nasavit IP adresu jednotky (192.168.0.22).



Parametry	Aktuální data	Adresy	←	☑	×
<b>Základní parametry</b>					
Aktivní		NE			
IP adresa		192.168.0.22			
Port		:9999			
<b>Časy</b>					
Posun času		0:00:00:00			
Max. odchylka časů		100 ms			
Max. počet dotazů na čas		20			
Časová zóna		CET			

Obr. 6-9 Nastavení IP adresy jednotky

Následně zadáme obdobným způsobem ručně jednotlivé moduly. Opět pravým tlačítkem Přidat nový -> Komunikační modul/vstupní modul (DI20\_UPF)/výstupní modul (DO\_ICC)/měřicí modul (EP-ICC-UI).

Nakonec nastavíme rozsahy měřících karet, Primární součinitel převodu snímače I na 160 A (sekundární součinitel 1 A) a Primární součinitel převodu snímače U na 22 kV (sekundární součinitel 100 V).

V nastavení můžeme měnit polaritu měření proudů respektující výkonový tok. Jelikož má měřicí karta pouze 3 vstupy (3U3I), tak zvolíme způsob získávání 3I0 a U0 výpočtem z fázových hodnot.

Parametry	Aktuální data	Adresy	←	☑	×
<b>Základní parametry</b>					
Aktivní		<b>ANO</b>			
Pozice ve sběrnici		<b>8</b>			
ID šasi		<b>0</b>			
<b>Zprávy</b>					
Interval opakování zpráv		<b>7 s</b>			
Max. počet opakování		<b>10</b>			
Max. doba beze zpráv		<b>90 min</b>			
Interval mezi zprávami		<b>100 ms</b>			
Interval mezi zpr. č. 5		<b>5 min</b>			
Podmínky pro zpr. č. 6		<b>255</b>			
<b>Další nastavení</b>					
Zdroj 3I0		<b>t z fázových hodnot</b>			
Výpočet výkonů P a Q		<b>3Uf 3If</b>			
Přenos měření		<b>desetinné číslo</b>			
Polarita I1		<b>Přímá</b>			
Polarita I2		<b>Přímá</b>			
Polarita I3		<b>Přímá</b>			
Polarita IO		<b>Přímá</b>			
Pole		<b>Pravotočivé</b>			
Necitlivost měření		<b>ANO</b>			
Posílat napětí na vnitřní sběrnici		<b>NE</b>			
Napětí z vnitřní sběrnice		<b>Ne</b>			
Referenční napětí z vnitřní sběrnice		<b>Ne</b>			
<b>Nastavení kanálu</b>					
Použitý rozsah		<b>Primární</b>			
<b>Rozsahy proudových vstupů</b>					
Sekundární jmenovitý rozsah I		<b>1 A</b>			
Sekundární maximální rozsah I		<b>10 A</b>			
Sekundární jednotka I		<b>A</b>			
Primární jednotka I		<b>A</b>			
Primární součinitel převodu snímače I		<b>160 A</b>			
Sekundární součinitel převodu snímače I		<b>1 A</b>			
<b>Rozsahy napěťových vstupů</b>					
Maximální měřené napětí		<b>sdužené</b>			
Sekundární jmenovitý rozsah U		<b>100 V</b>			
Sekundární maximální rozsah U		<b>120 V</b>			
Sekundární jednotka U		<b>V</b>			
Primární jednotka U		<b>kV</b>			
Primární součinitel převodu snímače U		<b>22 kV</b>			
Sekundární součinitel převodu snímače U		<b>100 V</b>			

Obr. 6-10 Nastavení proudových a napěťových rozsahů

Nyní můžeme provést základní konfiguraci jednotky – zvýrazněním příslušné skupiny a stiskem kombinace „CTRL + P“. Správně nastavené a nakonfigurovaná jednotka komunikující s PC má vpravo vedle názvu zelené kolečko.

### 6.3 Rozdíly

Instalace programového vybavení od firmy ABB (PCM600) je snadné a stačí se držet instrukcí instalačního programu, následné nastavení komunikace a základní nastavení probíhá takřka automaticky (načtení HW konfigurace) a není potřeba zadávat nebo měnit více proměnných. Program PCM je v anglickém jazyce (je možná volba němčiny, francouzštiny, ...).

Naproti tomu programového vybavení od firmy Elvac (Uživatelské centrum) se skládá z více programů. K instalaci je zapotřebí dodržet postupně dané kroky. Následná HW konfigurace jednotky probíhá ručně a uživatel musí zadat postupně jednotlivé moduly s výběrem potřebných proměnných. Naopak uživatelské prostředí je v českém jazyce (dále je možná volba angličtiny nebo slovenštiny).

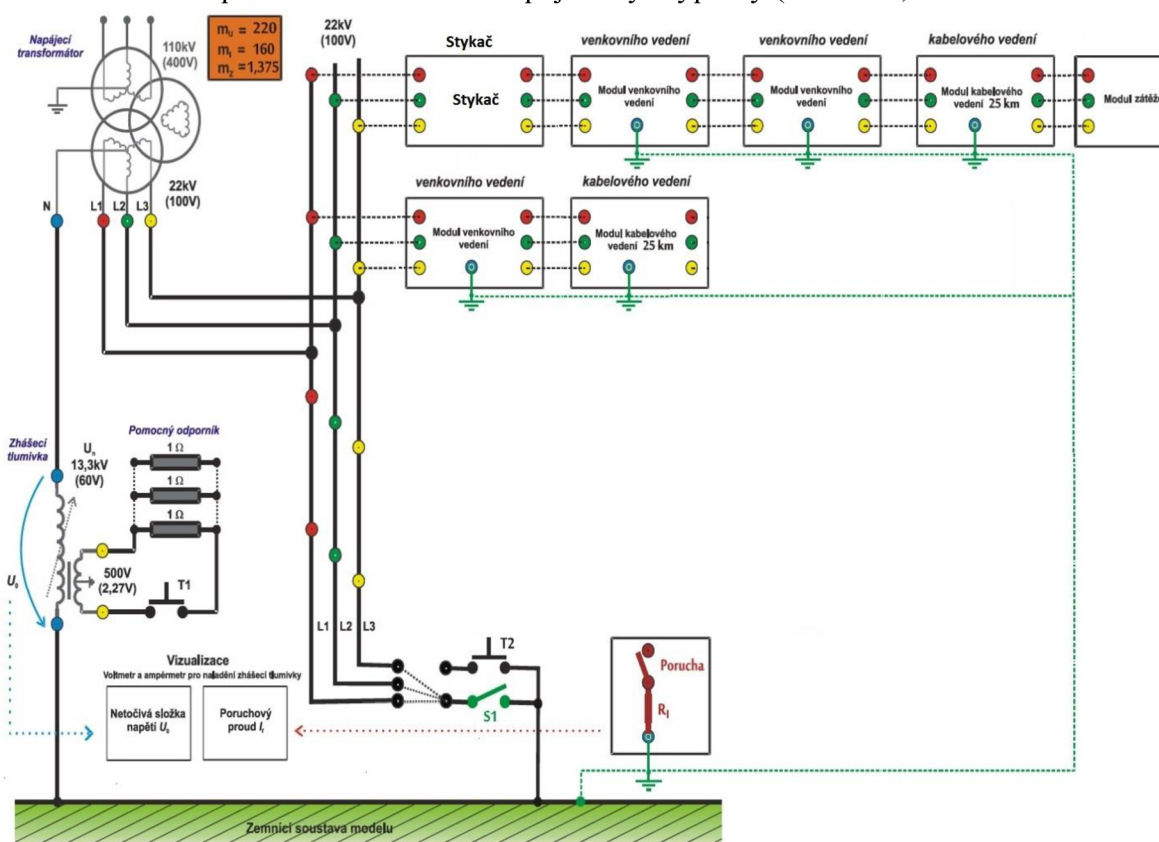
## 7. EXPERIMENTÁLNÍ MODEL

Testování ochranných funkcí probíhalo na modelu distribuční sítě vysokého napětí 22 kV. Soustava měla účinně uzemněný střed napájecího transformátoru přes zhášecí tlumivku. Distribuční síť v ČR se provozují jako zcela vykompenzované ( $|\bar{I}_C| = |\bar{I}_L|$ ).

Byly zapojené 2 vývody. První vývod byl vybaven stykačem, kterému byly předřazené proudové vstupy ochrany (sériově zapojení – sběrnice -> REX640 -> RTU7M -> stykač). Dále bylo zařazeno postupně vedení TYP I 70ALFe6 10 km trojúhelník (4), TYP II AlFe42/7 10 km rovinné (7), Kabel 22-AXEKCY 25km (13) a model zátěže ( $P_n = 1,88 \text{ MW}/53 \text{ W}$ ).

Druhý nechráněný vývod byl osazen vedením TYP II AlFe42/7 10 km rovinné a Kabel 22-AXEKCY 25 km.

Modul zátěže pro testování zemních spojení byl vypnutý ( $P_n = 0 \text{ W}$ )



Obr. 7-1 Schéma zapojení modelu

### 7.1.1 Parametry modelu

Model je napájen z 3f zásuvky napájené z laboratorního pultu. Následuje transformátor (Yy) 400 V/ 100 V.

Napěťová hladina modelu je  $U_s = 100\text{V}$ , což odpovídá hodnotě sekundárního výstupu přístrojového transformátoru napětí, to nám umožní měřit přímo napětí z modelu.

Model je vyroben v měřítku proudu  $\text{mA} = 160$ , proto také můžeme pomocí ochrany měřit přímo jednotlivé proudy bez nutnosti použití proudových snímačů.

### 7.1.2 Zhášecí tlumivka

Ve skutečné distribuční síti probíhá ladění zhášecí tlumivky automaticky. Tato operace je ale na modelu nutná provést ručně.

Tlumivku nastavíme pomocí voltmetru tak aby na ní bylo maximální napětí  $\overline{U}_0$ . To nastane v případě ideální kompenzace  $|\overline{I}_C| = |\overline{I}_L|$ .

Pro nastavenou konfiguraci sítě bylo při naladění tlumivky napětí na tlumivce 2,1 V.

## 7.2 Schéma zapojení

Ochrany byly zapojené do sítě dle následujícího schématu. Napájení ochrany ABB REX640 bylo provedeno z testovacího rámu, napájení jednotky RTU7M z pomocné zásuvky modelu sítě, Dále bylo ještě nutné napájet stykače v modelu sítě – opět z pomocného napětí modelu sítě (230 V AC).

Ochrana ABB REX640 měla kromě měřících vstupů zapojený i jeden výstup který sloužil k signalizaci působení ochrany.

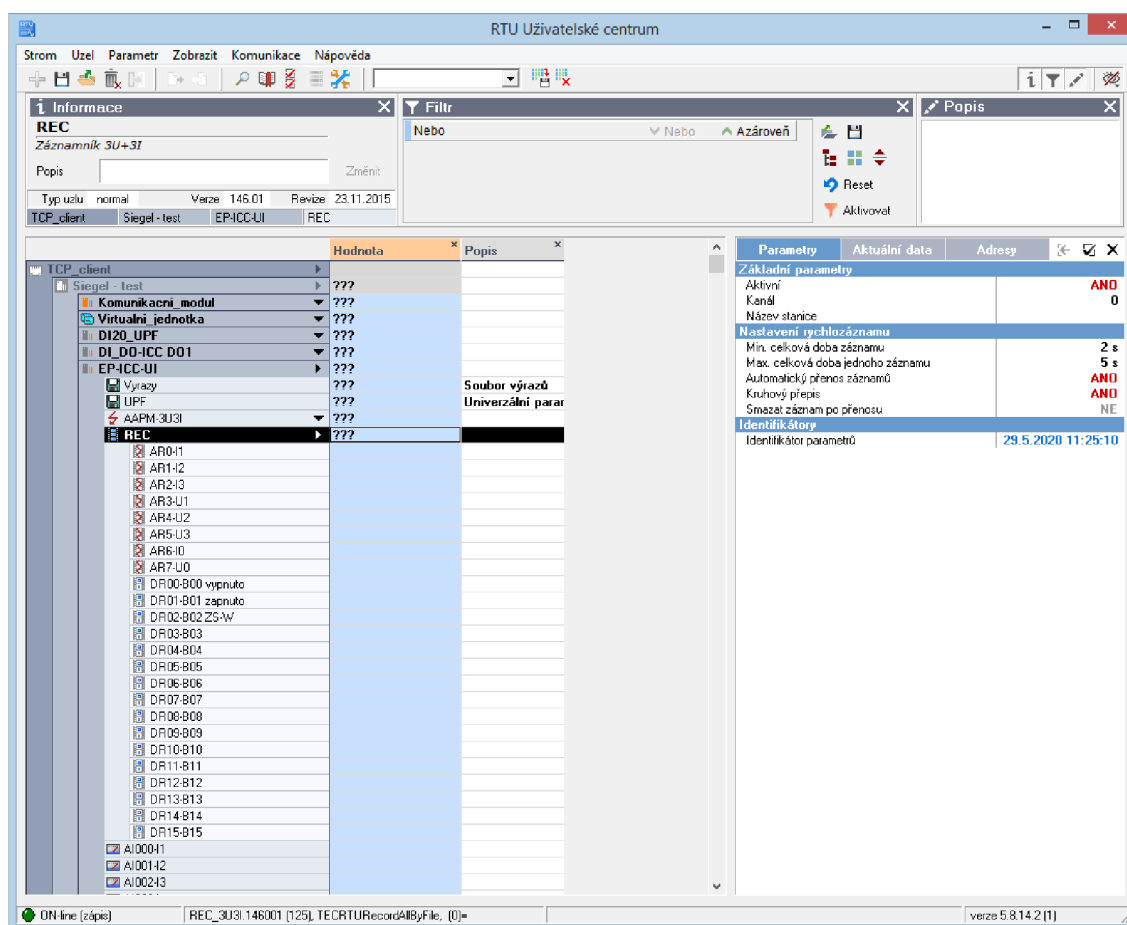
Jednotka RTU7M měla zapojené výstupy pro ovládání stykače (VYP/ZAP) v případě působení ochrany a dále vstupy pro signalizaci stavu stykače a signalizaci působení ochrany ABB REX640.

## 8. OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI VYBRANÝCH OCHRANNÝCH FUNKCÍ

V tomto kroku byly nakonfigurované další nastavení jednotlivých jednotek. Jednotka RTU7M sloužila k ovládání silového prvku, zaznamenávání poruchových proudů a napětí a signalizaci působení ochran.

V záložce EP-ICC-UI -> REC byly vybrány jednotlivé signály (viz nastavení níže), které se mají zaznamenávat i doba záznamu. Poruchové záznamy jsou ukládány do paměti jednotky, po připojení PC se záznamy automaticky stahují.

Jednotlivé položky se povolují/zakazují pravým tlačítkem myši nebo stiskem mezerníku.



Obr. 8-1 Konfigurace RTU7M pro povolení záznamu poruchových stavů

V jednotce ABB REX 640 bylo nastaveno, aby se při působení ochrany (výstup z bloku ochrany *operate*) sepnul digitální výstup (BI9 – vstupně/výstupní karta ve slotu B).

## 8.1 Třífázová směrová nadproudová ochrana

Nejprve byla pro otestování nastavení a správnosti zapojení soustavy vybrána třífázová směrová nadproudová ochrana (DPHHPDOC).

Zkrat byl nasimulovaný na konci kabelového vedení pomocí stykače v laboratorním stole.

Maximální zkratový proud byl určen z celkové impedance chráněného vedení a fázovou hodnotou napětí. Výsledný proud musí být menší než dovolený krátkodobý zkratový proud modelu 15 A (po dobu 2s).

Impedance vedení (TYP I 70ALFe6 10 km trojúhelník, TYP II AlFe42/7 10 km rovinné, Kabel 22-AXEKCY 25km), byla určena výpočtem:

$$\overline{Z_{V1}} = \overline{Z_{V11}} + \overline{Z_{V12}} + \overline{Z_{V13}} = (3,48 + 2,23j) + (4,99 + 2,61j) + (2,24 + 2,06j) = 10,71 + 6,9j \Omega \quad (8.1)$$

Při uvažování ideálního transformátoru (impedance je nulová) vypočteme maximální proud:

$$I_{V1-3f} = \frac{\frac{U_1}{\sqrt{3}}}{|\overline{Z_{V1}}|} = \frac{\frac{100}{\sqrt{3}}}{12,7} = 4,54 \text{ A} \quad (8.2)$$

Hodnotu proudu pro působení ochrany jsem zvolil nižší  $I_{VYP-3f-sek} = 3 \text{ A}$ . Primární hodnota proudu pro nastavení ochrany RTU7M byla vypočtena vynásobením převodem proudového transformátoru (měřítkem modelu):

$$I_{VYP-3f-prim} = I_{VYP-3f-sek} \cdot m_I = 3 \cdot 160 = 480 \text{ A} \quad (8.3)$$

Pro ochranu REX640 byl zapotřebí vypočítat poměr proudu ku jmenovité hodnotě:

$$xI_N = \frac{I_{VYP-3f-sek}}{160} = \frac{480}{160} = 3 \quad (8.4)$$

### Nastavení proudu

REX640 – Current start value – 3 xIn

RTU7M – Mez proudu  $I_s$  – 480 A

### Směrová charakteristika

Chceme chránit pouze postižený úsek tak zvolíme v nastavení směru u ochrany

REX640 – *Directional mode*: „Forward“

RTU7M – směrovost ochrany – působení vpřed.

### Charakteristický úhel

Pro naši síť nastavíme V našem případě byl charakteristický úhel nastaven na hodnotu  $0^\circ$

REX640 – *Characteristic angle*: „0“

RTU7M – Charakteristický úhel - 0

Parametry	Aktuální data	Adresy
<b>Základní parametry</b>		
Aktivní		AND
Zdroj blokování		< není >
<b>Meze</b>		
Mez proudů I <sub>s</sub>		480 A
Čas meze		0 s
Zvýšená mez proudů po zapnutí		0 A
Doba platnosti zvýšené meze		0 s
Napětí povolující zvýšenou mez		0 kV
Čas nulování		0 s
Směrnost ochrany		působení vpřed
Charakteristika		časově nezávislá
<b>Filtr</b>		
Filtr		NE
<b>Automatiky</b>		
Vypnutí ochranou		NE
Počet OZ při nadproudu		0
<b>Vyhodnocované vstupy</b>		
Druh ochrany		fázová
<b>Úhel</b>		
Charakteristický úhel		0 °
Aktivní výseč		90 °

Obr. 8-2 Nastavení RTU7M (ochrana ANSI167)

### Num of start phases (Podmínka počtu fází ve kterých vznikla porucha):

Jestli je hodnota proudů Start value překročena v nastaveném počtu fází, tak ochrana posílá signál na časovač.

REX640 – Num of start phases byl nastaven na jedna fáze ze tři

### Operating curve time (Časová charakteristika):

Charakteristika byla zvolena u obou ochran jako časově nezávislá. Cílem měření bylo otestování působení ochran.

REX640 – Operating curve time: „IEC def time“

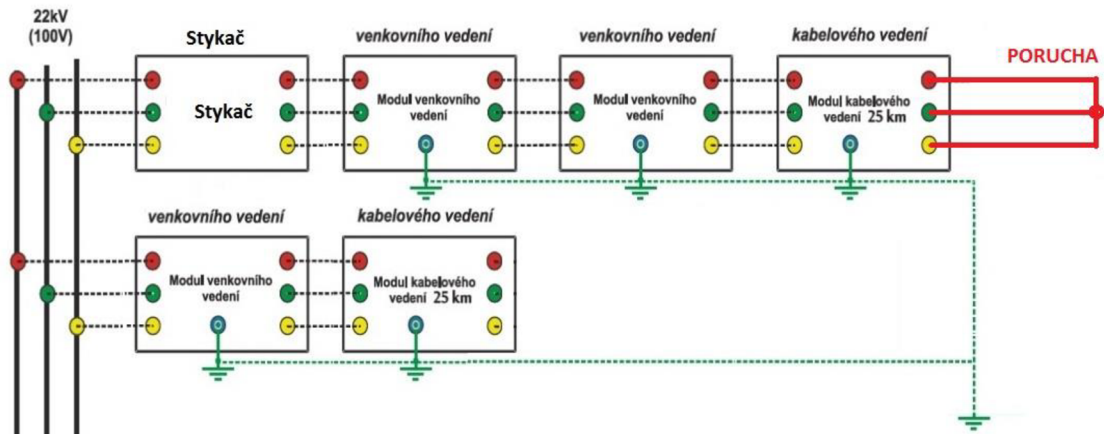
RTU7M – Charakteristika – časově nezávislá

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
DPHHPDOC1(67P/51P-2(1); 3I>>>(1)					
3I>>>(1)					
Operation		on			
Num of start phases		1 out of 3			
Setting Group 1					
Start value		3,00	xIn	0,10	40,00
Start value Mult		1,0		0,8	10,0
Directional mode		Forward			
Operating curve type		IEC Def. Time			
Operate delay time		40	ms	40	300000
Characteristic angle		60	deg	-179	180
Max forward angle		80	deg	0	90
Max reverse angle		80	deg	0	90
Min forward angle		80	deg	0	90
Min reverse angle		80	deg	0	90

Obr. 8-3 Nastavení ochrany DPHHPDOC u REX640



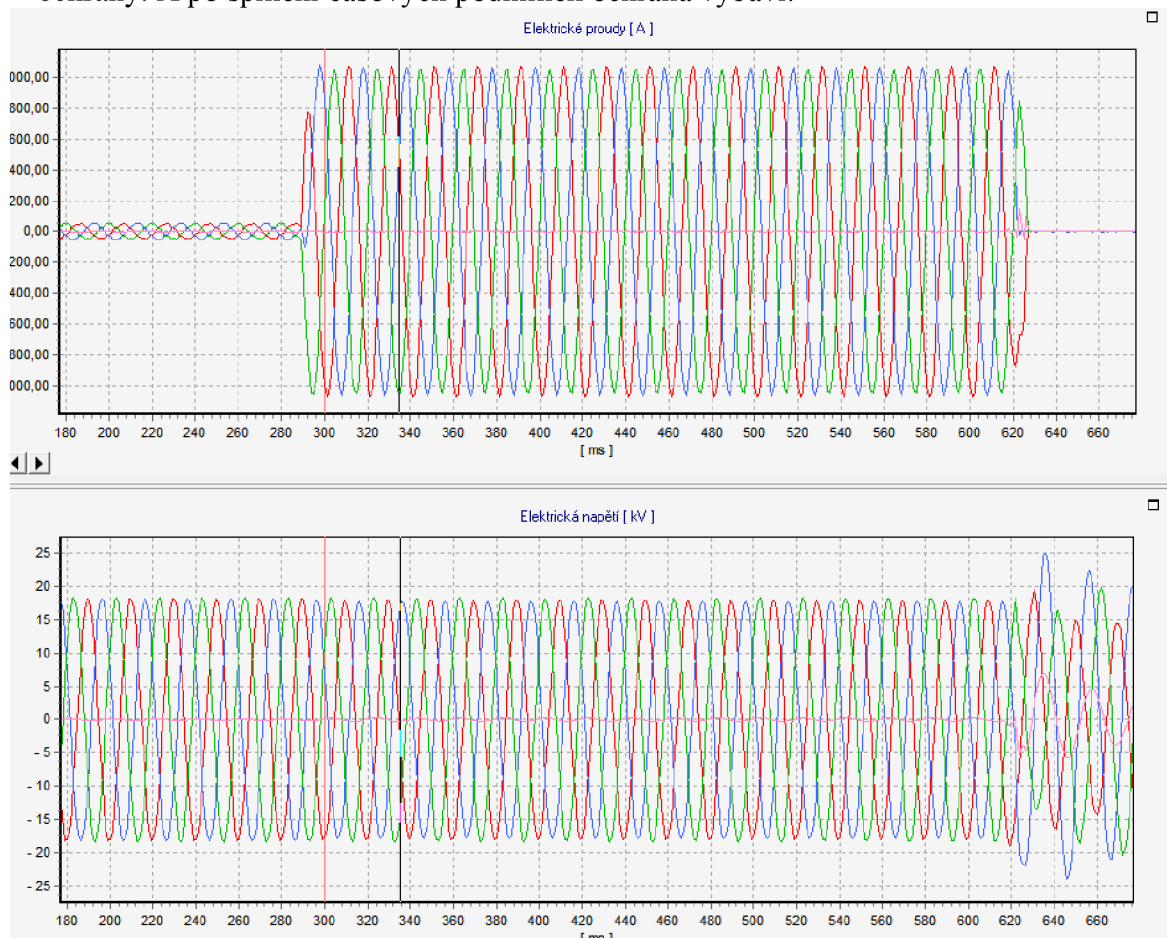
## 8.1.1 Testování ochrany



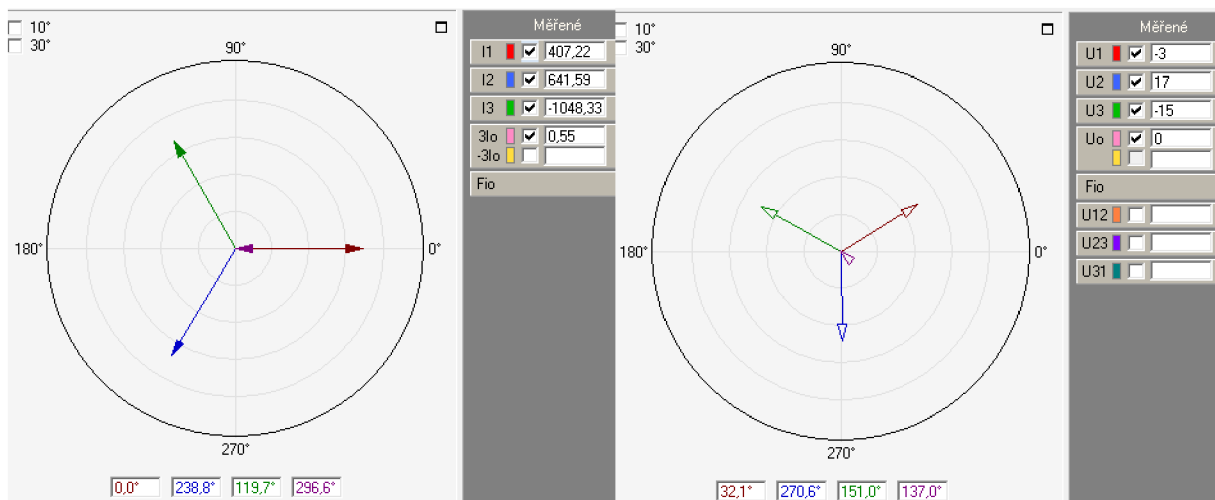
Obr. 8-4 Schéma poruchy

Před testováním bylo nutné ještě vypnout ostatní bloky ochrany, aby nedocházelo k nežádoucímu působení ostatních bloků ochrany.

Po nasimulovaném zkratu (pomocí stykače na pracovním stole) ochrana nejdříve vyhodnotí překročenou hodnotu proudu, poté následuje kontrola počtu postižených fází a porovnání charakteristického úhlu zda se nachází v operační oblasti (směrnosti) ochrany. A po splnění časových podmínek ochrana vybaví.



Obr. 8-5 Zaznamenaný poruchový záznam



Obr. 8-6 Fázorové diagramy během poruchy

Tabulka 8-1 Tabulka změřených hodnot

	REX 640		RTU7M		Vypočtená hodnota	
Max current IL1	4,806	xIn	4,75	xIn		
Max current IL2	4,704	xIn	4,69	xIn	4,54	xIn
Max current IL3	4,607	xIn	4,66	xIn		
Voltage UL1	0,633	xUn	0,6	xUn		
Voltage UL2	0,574	xUn	0,59	xUn		
Voltage UL3	0,603	xUn	0,61	xUn		
Voltage Uo	0,074	xUn	0,051	xUn		
Current Io-Calc	0,051	xIn	0,39	xIn		
Current Ps-Seq	0,078	xIn				
Current Ng-Seq	4,706	xIn				
Voltage Zro-Seq	0,074	xUn				
Voltage Ps-Seq	0,002	xUn				
Voltage Ng-Seq	0,603	xUn				

### 8.1.2 Zhodnocení testu

Obě ochrany zapůsobily na poruchový stav. Změřený poruchový proud u obou ochran byl téměř shodný (viz přechodí tabulka). Lišil se nepatrně od vypočítané hodnoty, to mohlo být způsobeno nepatrně jiným napájecím napětím se sítě (oproti uvažovanému  $U_S = 100 \text{ V}$ ), nebo tolerancí použitých modelů.

Ochrana REX indikovala poruchu v čase 40 ms od vzniku poruchy, což odpovídá nastavenému nejmenšímu možnému času (Operate delay time) 40ms.

Jednotka RTU7M signalizovala poruchu v čase 15 ms, tento čas nebyl v nastavení nijak limitován.

## 8.2 Konduktanční zemní ochrana

Pro indikaci zemního spojení v kompenzované síti se využívá konduktanční varianta admitanční ochrany.

Pro nastavení ochrany je nutné nejdříve vypočítat konduktanci postiženého/chráněného vývodu. Ta se skládá z jednotlivých konduktancí vedení a konduktanci kompenzační tlumivky.

$$G_{TL} = \frac{1}{3 \cdot R_{Pprim}} = \frac{1}{3 \cdot 235,85} = 1,413 \text{ mS} \quad (8.5)$$

K tlumivce je připojován pomocný odporník  $R_{Psek} = 1/3 \Omega$  (3 x 1  $\Omega$  paralelně), který můžeme přepočítat na sekundární stranu.

$$R_{Pprim} = \left( \frac{U_{prim}}{U_{sek}} \right)^2 \cdot R_{Psek} = \left( \frac{13300}{500} \right)^2 \cdot \frac{1}{3} = 235,85 \Omega \quad (8.6)$$

Konduktance vedení:

$$G_{VED} = \frac{1}{R_{svod1}} + \frac{1}{R_{svod1}} + \frac{1}{R_{svod1}} = \frac{1}{51000} + \frac{1}{51000} + \frac{1}{20500} = 88,0 \mu\text{S} \quad (8.10)$$

Teoretická celková konduktance postiženého vývodu:

$$G = G_{TL} + G_{VED} = 1,413 \cdot 10^{-3} + 88,0 \cdot 10^{-6} = 1,501 \text{ mS} \quad (8.11)$$

Bezpečnostní koeficient lze volit v rozsahu 0,5 až 0,8. Pro výpočet byl uvažován  $K_{kon} = 0,6$  s přepočtem na skutečnou hodnotu pomocí měřítka modelu  $m_z = 1,375$ .

$$G_{popud} = G \cdot K_{kon} \cdot m_z = 1,5 \cdot 0,6 \cdot 1,375 = 1,2 \text{ mS} \quad (8.12)$$

Tuto hodnotu nastavíme jako popudovou (hraniční čára admitanční ochrany).

REX640 - *Conductance forward* - 1,2 mS

RTU7M - mez pro svodovou konduktanci (vypočítaná) - 1,2 mS

Aby ochrana mohla začít působit, musí netočivá složka napětí překročit danou mez, byla nastavena hodnota 2,2 kV respektive 10%  $U_m$ .

REX640 - *Voltage start value*: 0.10

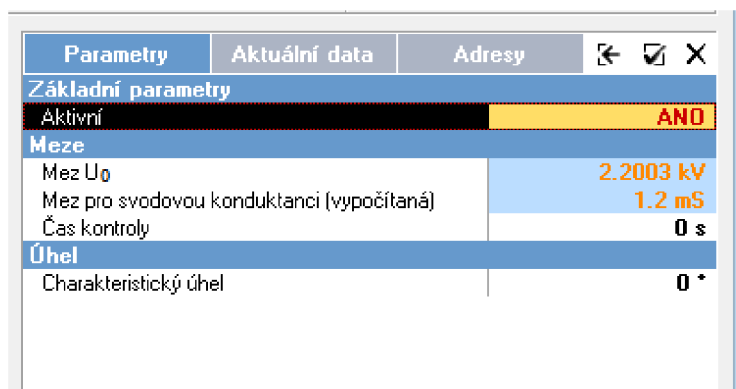
RTU7M - Mez  $U_0$  - 2,2 kV

Nastavení časové závislosti

REX640 - *Operating delay time* - 60 ms

RTU7M - Čas kontroly - 0 s

Pro měření nebudeme uvažovat otočení charakteristiky (Charakteristický úhel).



Obr. 8-7 Nastavení RTU7M (ochrana ZS-K)

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
✓ EFPADM1(21YN(1); Yo>>(1)): 1					
✓ Yo>>(1)					
✓ Operation		on			
✓ Setting Group 1					
✓ Voltage start value		0.10	xUn	0.01	2.00
✓ Directional mode		Forward			
✓ Operation mode		Go			
✓ Operate delay time		60	ms	60	300000
✓ Conductance forward		1.20	mS	-500.00	500.00
✓ Conductance reverse		-1.00	mS	-500.00	500.00
✓ [+] Setting Group 2					
✓ Setting Group 3					
✓ Voltage start value		0.15	xUn	0.01	2.00
✓ Directional mode		Forward			
✓ Operation mode		Yo			
✓ Operate delay time		60	ms	60	300000
✓ Circle radius		1.00	mS	0.05	500.00
✓ Circle conductance		0.00	mS	-500.00	500.00
✓ Circle susceptance		0.00	mS	-500.00	500.00
✓ [+] Setting Group 4					
✓ [+] Setting Group 5					
✓ [+] Setting Group 6					

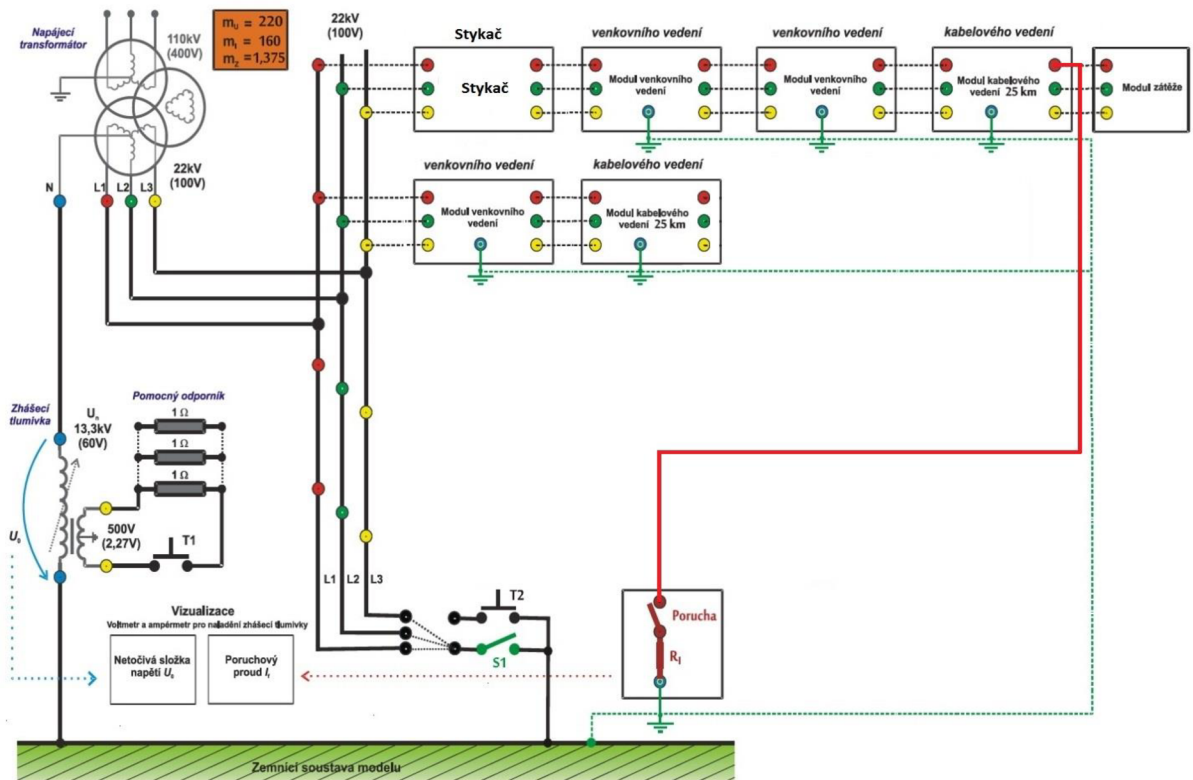
Obr. 8-8 Nastavení EFPADM1

## 8.2.1 Testování ochrany

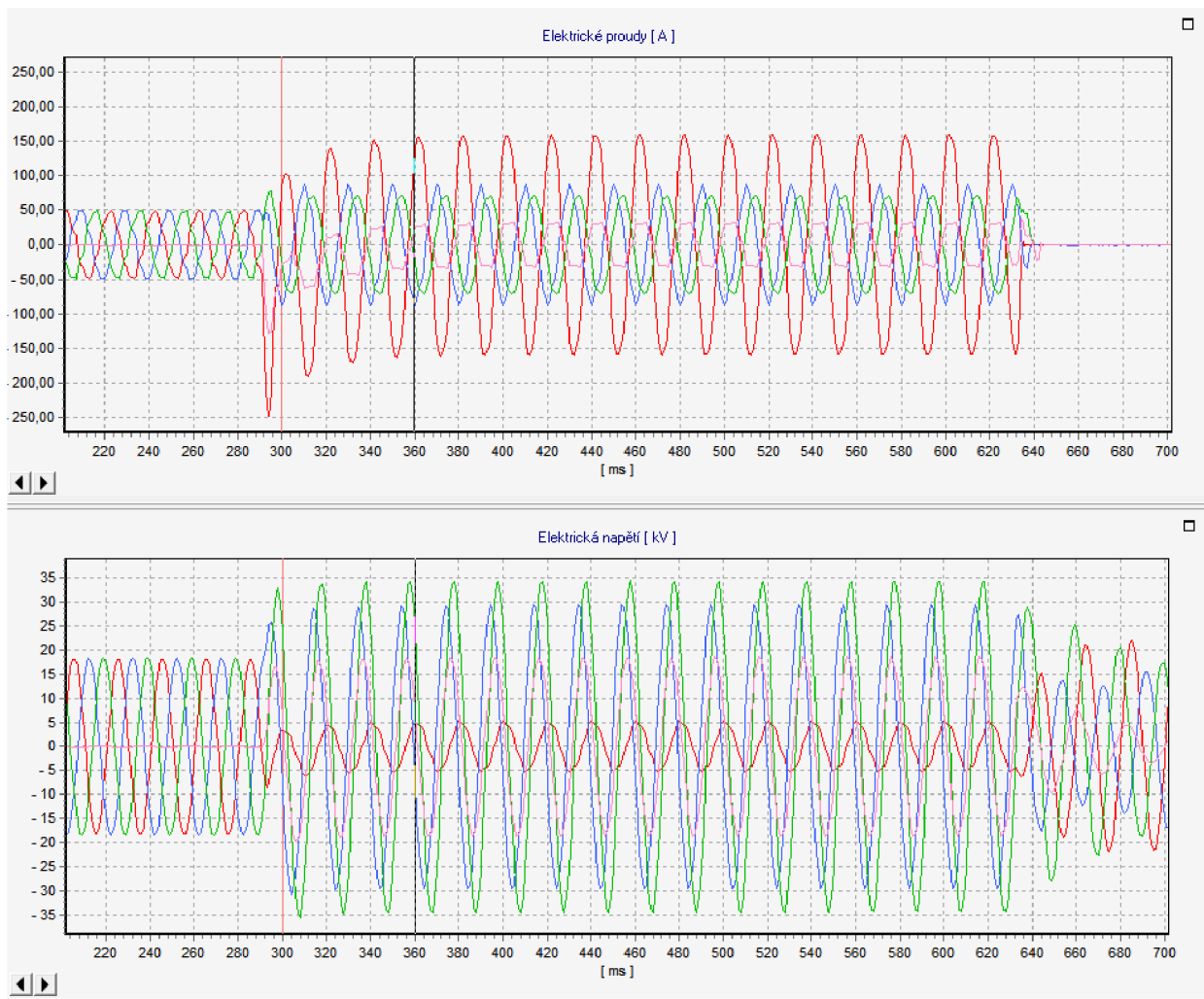
Před testováním bylo nutné ještě vypnout ostatní bloky ochrany, aby nedocházelo k nežádoucímu působení ostatních bloků ochrany.

Poté můžeme projít vodičem postiženou fází (L1) na konci vedení s tlačítkem na testovacím rámu, které je spojeno vybraný 10 Ω odporem se zemí modelu.

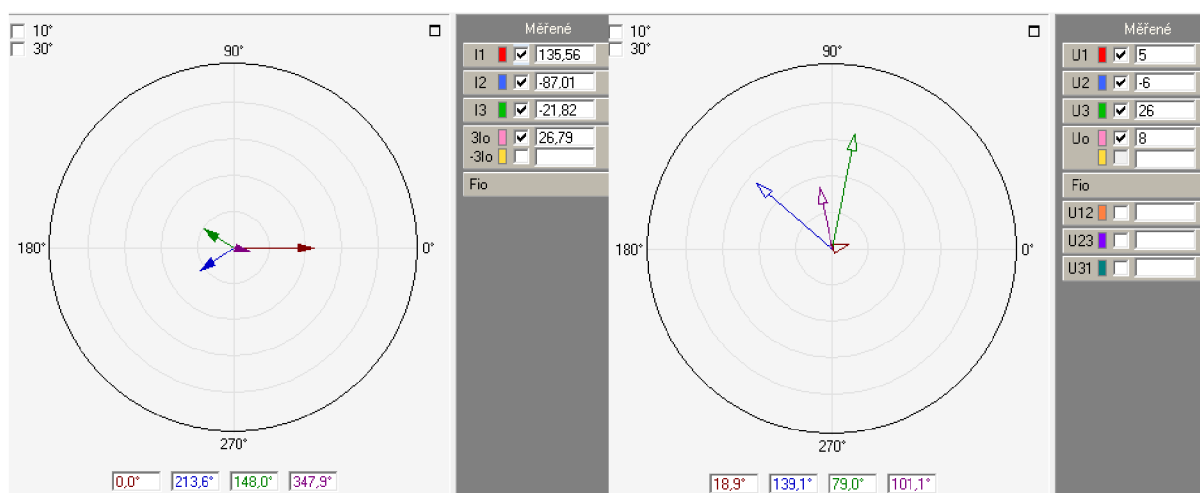
Poruchové záznamy jsou zobrazeny pomocí programu *Prohlížeč záznamů* dodávaný s *Uživatelským centrem*.



Obr. 8-9 Schéma poruchy



Obr. 8-10 Zaznamenaný poruchový záznam



Obr. 8-11 Fázorové diagramy během poruchy

Tabulka 8-2 Tabulka změřených hodnot

	REX 640		RTU7M		Vypočtená hodnota	
Max current IL1	0,72	xIn	0,73	xIn		
Max current IL2	0,365	xIn	0,37	xIn		
Max current IL3	0,312	xIn	0,32	xIn		
Voltage UL1	0,105	xUn	0,109	xUn		
Voltage UL2	0,101	xUn	0,095	xUn		
Voltage UL3	0,021	xUn	0,018	xUn		
Voltage Uo	0,055	xUn	0,059	xUn		
Current Io-Calc	0,147	xIn	0,155	xIn		
Current Ps-Seq	0,077	xIn				
Current Ng-Seq	0,233	xIn				
Voltage Zro-Seq	0,533	xUn				
Voltage Ps-Seq	0,002	xUn				
Voltage Ng-Seq	0,561	xUn				
Conductance Go	1,804	mS	1,9	mS	2,06	mS
Susceptance	-3,709	mS				

## 8.2.2 Zhodnocení testu

Obě ochrany zapůsobily na poruchový stav – zemní spojení (L1) na konci vedení s přechodovým odporem zemního spojení  $10 \Omega$ . Změřené konduktance byly téměř shodné, ale lišily se od teoreticky spočítané hodnoty. Rozdíl mohl být opět způsoben tolerancí použitých součástek v modelu, nebo nepřesným určením konduktance tlumivky.

Ochrana REX indikovala poruchu v čase 63 ms od vzniku poruchy, což odpovídá nastavenému nejmenšímu možnému času (Operate delay time) 60ms.

Jednotka RTU7M signalizovala poruchu v čase 17 ms, tento čas nebyl v nastavení nijak limitován.



### 8.3 Směrová zemní ochrana Zemní

Naposled byla otestována směrová rozlišovací schopnost směrové zemní ochrany. Nastavení hodnot vycházelo z předchozích měření, Dolní mez napětí středu  $U_0$  byla nastavena na hodnotu 2 kV (respektive  $0.09 \times U_n$ ) a mez proudu  $3I_0$  (vypočítaná) byla nastavena na 7A ( $0.050 \times I_n$ ) – primární hodnoty proudu.

Pro test dále byla nastavená časově nezávislá charakteristika s časem nulování 0 s.

Testovalo se SW nastavení směrovosti ochrany – působení vzad / působení vpřed, respektive u REX640 *Directional mode – Forward/Reverse* Pohled směru ochrany se měnil různým HW zapojení měnící smysl toku výkonu (proudu), pro měření vpřed (zapojení Příloha 2) a pro měření vzad (zapojení Příloha 3).

Pro všechny kombinace (4), byly nasimulovány poruchy dle obr. 8-9. Následně bylo vyhodnoceno měření.

Group / Parameter Name	IED Value	PC Value	Unit	Min	Max
DEFLPDEF1(67G/N-1 51G/N-1(1); Io>-(1)					
Io>-(1)					
Operation		on			
Setting Group 1					
Start value		0.050	xIn	0.010	5.000
Start value Mult		1.0		0.8	10.0
Directional mode		Forward			
Operating curve type		IEC Def. Time			
Operate delay time		50	ms	50	300000
Characteristic angle		-90	deg	-179	180
Max forward angle		80	deg	0	180
Max reverse angle		80	deg	0	180
Min forward angle		80	deg	0	180
Min reverse angle		80	deg	0	180
Voltage start value		0.090	xUn	0.010	1.000
[+] Setting Group 2					
[+] Setting Group 3					
[+] Setting Group 4					
[+] Setting Group 5					
[+] Setting Group 6					

Obr. 8-12 Nastavení ochrany DEFLPDEF – REX640



Parametry	Aktuální data	Adresy	←	☑	×
<b>Základní parametry</b>					
Aktivní					<b>ANO</b>
Zdroj blokování					<není>
<b>Meze</b>					
Mez proudu $I_{lo}$ (vypočítaná)					<b>6.98 A</b>
Čas meze					<b>0 s</b>
Zvýšená mez proudu po zapnutí					<b>0 A</b>
Doba platnosti zvýšené meze					<b>0 s</b>
Napětí povolující zvýšenou mez					<b>0 kV</b>
Dolní mez pro napětí středu $U_0$					<b>1.9997 kV</b>
Čas nulování					<b>0 s</b>
Směrnost ochrany					<b>působení vzad</b>
Charakteristika					<b>časově nezávislá</b>
<b>Filtr</b>					
Filtr					NE
<b>Automatiky</b>					
Vypnutí ochranou					NE
Počet OZ při nadproudu					<b>0</b>
<b>Vyhodnocované vstupy</b>					
Druh ochrany					<b>zemní</b>
Činný proud					NE
<b>Úhel</b>					
Charakteristický úhel					<b>0 °</b>
Aktivní výseč					<b>90 °</b>

Obr. 8-13 Nastavení RTU7M (ochrana ANSI 67N)

Tabulka 8-3 Tabulka změřených hodnot

	směrnosti ochrany	REX640		RTU7M	
		působení vpřed ( <i>Forward</i> )	působení vpřed ( <i>Reverse</i> )	působení vpřed	působení vzad
Zapojení měřících obvodů	měření vpřed (zapojení Příloha 2)	Působí (Tripuje)	Nepůsobí (Netripuje)	Působí (Tripuje)	Nepůsobí (Netripuje)
	měření vzad (zapojení Příloha 3)	Nepůsobí (Netripuje)	Působí (Tripuje)	Nepůsobí (Netripuje)	Působí (Tripuje)

Obě směrové zemní ochrany vyhodnocovaly správně směr poruchy. Byla nastavena základní zemní ochrana, která vypočítává proud  $\bar{I}_0$  z fázových hodnot proudu  $\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3$ , pro citlivou zemní ochranu bychom museli získat přímo měřený proud pomocí průvlekového transformátoru.

## 9. ZÁVĚR

V úvodu byly rozděleny jednotlivé části elektrizační soustavy a jejich specifické zapojení nulového bodu soustavy vůči zemi. Tím i jejich specifika při chování při zemním spojení.

Dále byly rozděleny jednotlivé možné poruchy (zkraty) vyskytující se v elektrizační soustavě a jejich možné identifikace.

K porovnání digitální ochrany ABB REX640 byla vybrána komunikační/ochranná jednotka RTU7M od české firmy ELVAC a.s.

Nejprve bylo porovnáno HW provedení, obě koncepce jsou modulární a snadno se dokážou přizpůsobit požadavkům na danou aplikaci. Spektrum nabízených HW komponent je podobné, tímto se jednotka RTU7M přibližuje REX640.

SW vybavení jednotlivých jednotek je už rozdílnější. U REX640 je větší možnost detailnějších nastavení, nabízí více funkčních bloků, tím se stává více univerzální. Naproti tomu jednotka RTU7M která je primárně určena pro řízení a sběr dat v distribučních sítích elektrické energie nenabízí tolik pokročilejších ochranných funkcí.

Po popisu samotných jednotek jsem se zaměřil na programové vybavení a uživatelskou přívětivost. Obslužný systém *PCM600* pro ochranu REX640, je snadné nainstalovat do PC a provést základní nastavení/načtení samotné jednotky. Vše probíhá při úspěšném nastavení téměř automaticky. Celý systém a prostředí je v anglickém jazyce.

Jednotka RTU7M se konfiguruje pomocí programu *Uživatelské centrum*, pro uživatele je obtížnější postup prvotní instalace programu, je zapotřebí pro chod programu založenou SQL databázi v PC, další obslužný a komunikační SW. Následná základní konfigurace probíhá ručně a je nutná znalost HW složení. Jednotlivé komponenty se neliší nejen po HW stránce ale je zapotřebí i rozlišovat jednotlivé verze FW. Tím je systém složitější a vyžaduje po uživateli hlubší znalost o použitých komponentech. Někomu může být nápomocno české prostředí.

K samotnému otestování byla zvolena základní topologie sítě, do ní byly umístěny obě ochrany a před chráněný vývod byl ještě předřazen hlavní vypínací prvek (stykač).

Ze známých parametrů vedení byly určeny mezní hodnoty pro nastavení jednotlivých bloků ochrany.

Po úspěšné parametrizaci jednotek byl proveden samotný test. Všechny testy proběhly dle předpokladů a obě ochrany vždy správně dle očekávání vybavily.

Oba výrobci své systémy neustále vyvíjejí a vznikají nové verze obslužných programů. To lze více pozorovat u českého výrobce Elvac, kde je vývoj „živější“ a reaguje i na jednotlivé požadavky zákazníků. U ABB je situace „usazenější“, to je

dáno tím, že výrobce má robustnější řešení, dlouhodobější zkušenosti i širší uživatelskou základnu.

S oběma systémy jsem se nakonec naučil pracovat, seznámil jsem se se základní problematikou chránění vedení v laboratorní praxi a ukázal rozdílnosti obou systémů.

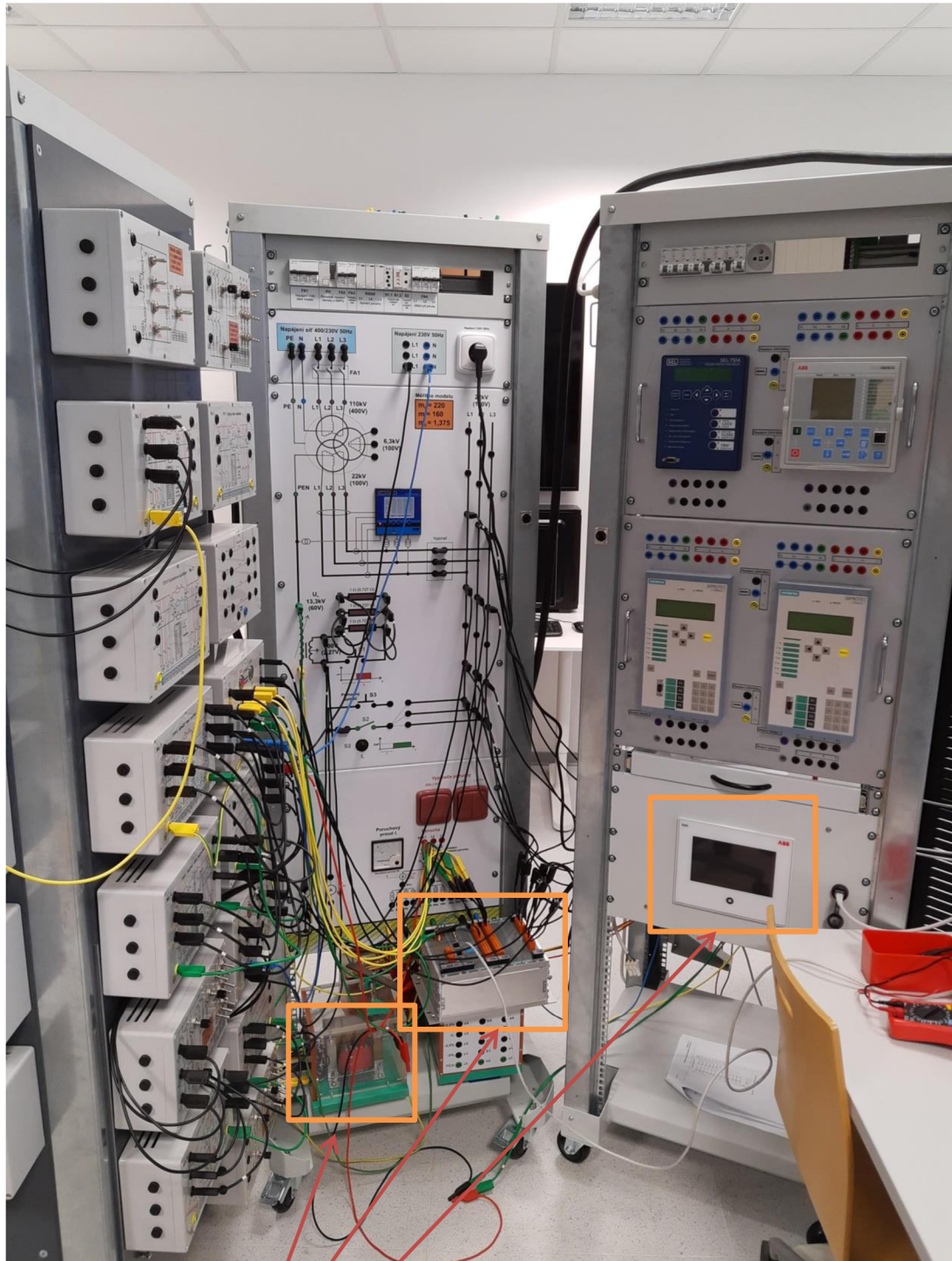
# Literatura

- [1] TOMAN, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., ORSÁGOVÁ, J., PAAR, M., TOPOLÁNEK, D. *Provoz distribučních soustav*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 263 s. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [2] ORSÁGOVÁ, J. *Rozvodná zařízení*. Skriptum, Brno 2015, 179 stran.
- [3] BLAŽEK, V. *Distribuce elektrické energie*. Skriptum, Brno 2005, 140 stran.
- [4] Česká přenosová a distribuční soustava – 4. díl: Vedení 400 kV. Oenergetice [online]. Brno [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/prenos-elektřiny/ceska-prenosova-a-distribucni-soustava-3-dil-vedeni-400-kv>
- [5] Zemní spojení v trojfázových soustavách [online]. Dostupné z: <https://www.powerwiki.cz/attach/ES/ZemniSpojeni.pdf> [cit. 2019-12-14]
- [6] PERCINA, Drahomír. Nkontaktní indikátory poruchových stavů na VN vedení. Brno, 2011. 97 str. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Petr TOMAN.
- [7] POSPÍŠIL, Jaroslav. Metodika nastavování elektronických ochranných pro napěťovou hladinu 22 kV. *Elektroenergetika* [online]. , 17 [cit. 2019-12-19]. Dostupné z: [http://www.kves.uniza.sk/kvesnew/dokumenty/EOA/Ochrany\\_22kV\\_docPospisil.pdf](http://www.kves.uniza.sk/kvesnew/dokumenty/EOA/Ochrany_22kV_docPospisil.pdf)
- [8] ABB. *REX640 Application Manual* [online]. 2019. [cit. 2019-12-19]. Dostupné z: [https://library.e.abb.com/public/4c0de600db9440a29de22630c9984f21/REX640\\_appl\\_759123\\_ENa.pdf](https://library.e.abb.com/public/4c0de600db9440a29de22630c9984f21/REX640_appl_759123_ENa.pdf)
- [9] ABB. *REF620 Application Manual* [online]. 2013. [cit. 2019-12-19]. Dostupné z: [https://library.e.abb.com/public/3b8e5f754bc0595bc1257b9f00173a57/REF620\\_appl\\_757651\\_ENa.pdf](https://library.e.abb.com/public/3b8e5f754bc0595bc1257b9f00173a57/REF620_appl_757651_ENa.pdf)
- [10] ABB. *REF630 Application Manual* [online]. 2017. [cit. 2019-12-19]. Dostupné z: [https://library.e.abb.com/public/4f50a17c81e53da3c1257dc7004c0432/REF630\\_appl\\_756510\\_ENe.pdf](https://library.e.abb.com/public/4f50a17c81e53da3c1257dc7004c0432/REF630_appl_756510_ENe.pdf)
- [11] ABB. *REF615 Application Manual* [online]. 2019. [cit. 2019-12-19]. Dostupné z: [https://library.e.abb.com/public/536000aef30b43f3b479094266e61f6f/REF615\\_appl\\_756378\\_ENt.pdf](https://library.e.abb.com/public/536000aef30b43f3b479094266e61f6f/REF615_appl_756378_ENt.pdf)
- [12] TOPOLÁNEK, D. Výzkumný model části distribuční sítě vysokého napětí [online]. Brno, 2011 [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: [http://www.ueen.feec.vutbr.cz/images/Veda\\_a\\_vyzkum/Produkty/Model\\_MV\\_DN/Popis\\_sestavy.pdf](http://www.ueen.feec.vutbr.cz/images/Veda_a_vyzkum/Produkty/Model_MV_DN/Popis_sestavy.pdf). VUT FEKT.
- [13] Elvac a.s., *Instalace\_5.x\_CZ.pdf*, Ostrava 2018, 11 stran
- [14] Elvac a.s., *EP 3U3I - dokumentace k ochranám ver. 193.01 2018-04-04.pdf*, Ostrava 2018, 44 stran
- [15] Elvac a.s., *Uživatelská příručka\_RTU7M\_CZ\_Rev23\_08#18.pdf*, Ostrava 2019, 242 stran

## Seznam příloh

Příloha 1 - Pohled na pracoviště .....	80
Příloha 2 - Schéma zapojení měření – vpřed .....	81
Příloha 3 - Schéma zapojení měření – vzad.....	82
Příloha 4 - Schéma napájení a signalizace.....	83
Příloha 5 - Pohled na prostředí PCM600 .....	84
Příloha 6 - Pohled na uživatelské centrum.....	85
Příloha 7 - Svorkovnice testovaných jednotek.....	86

## Příloha 1 - Pohled na pracoviště

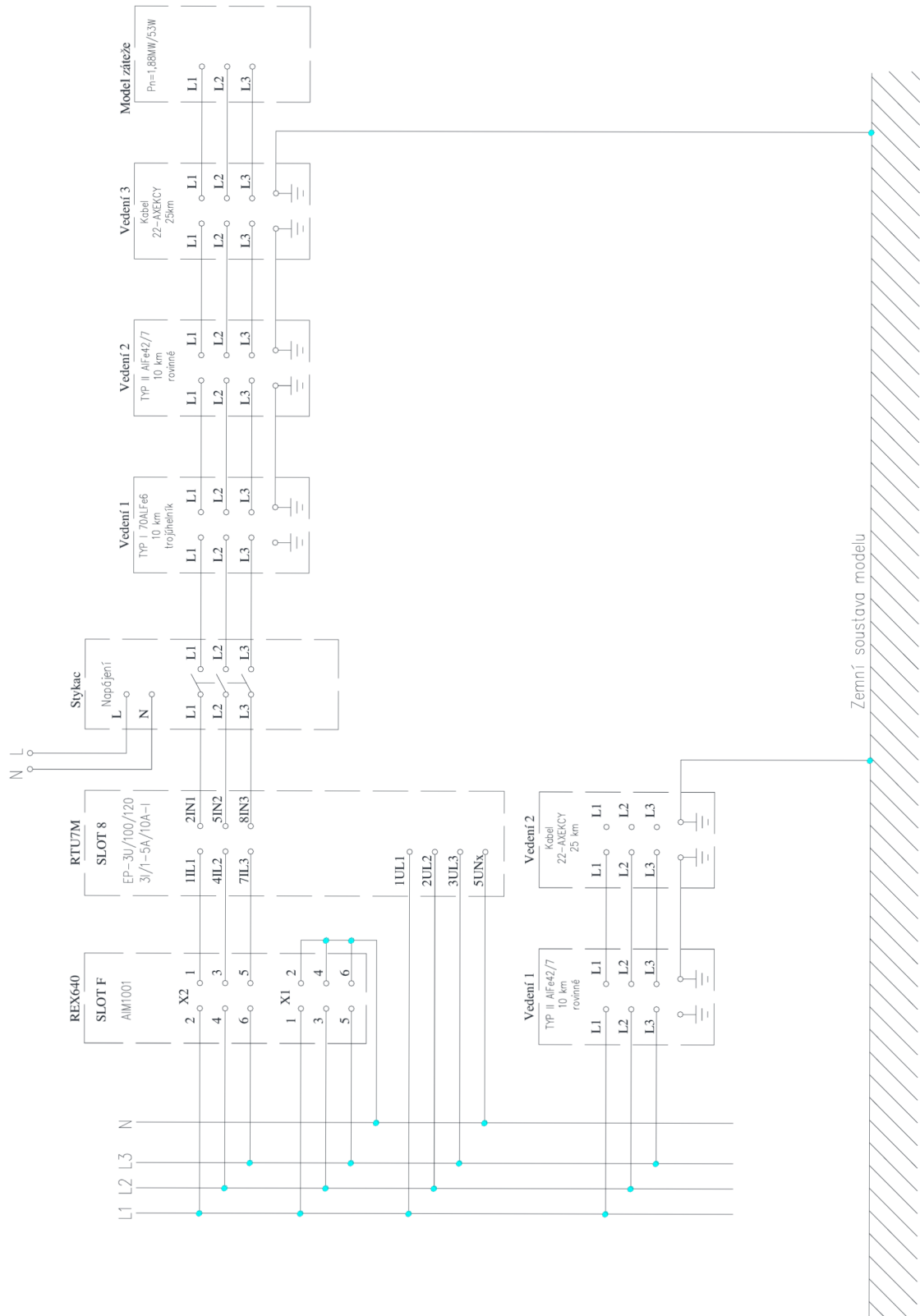


Kompenzační tlumivka

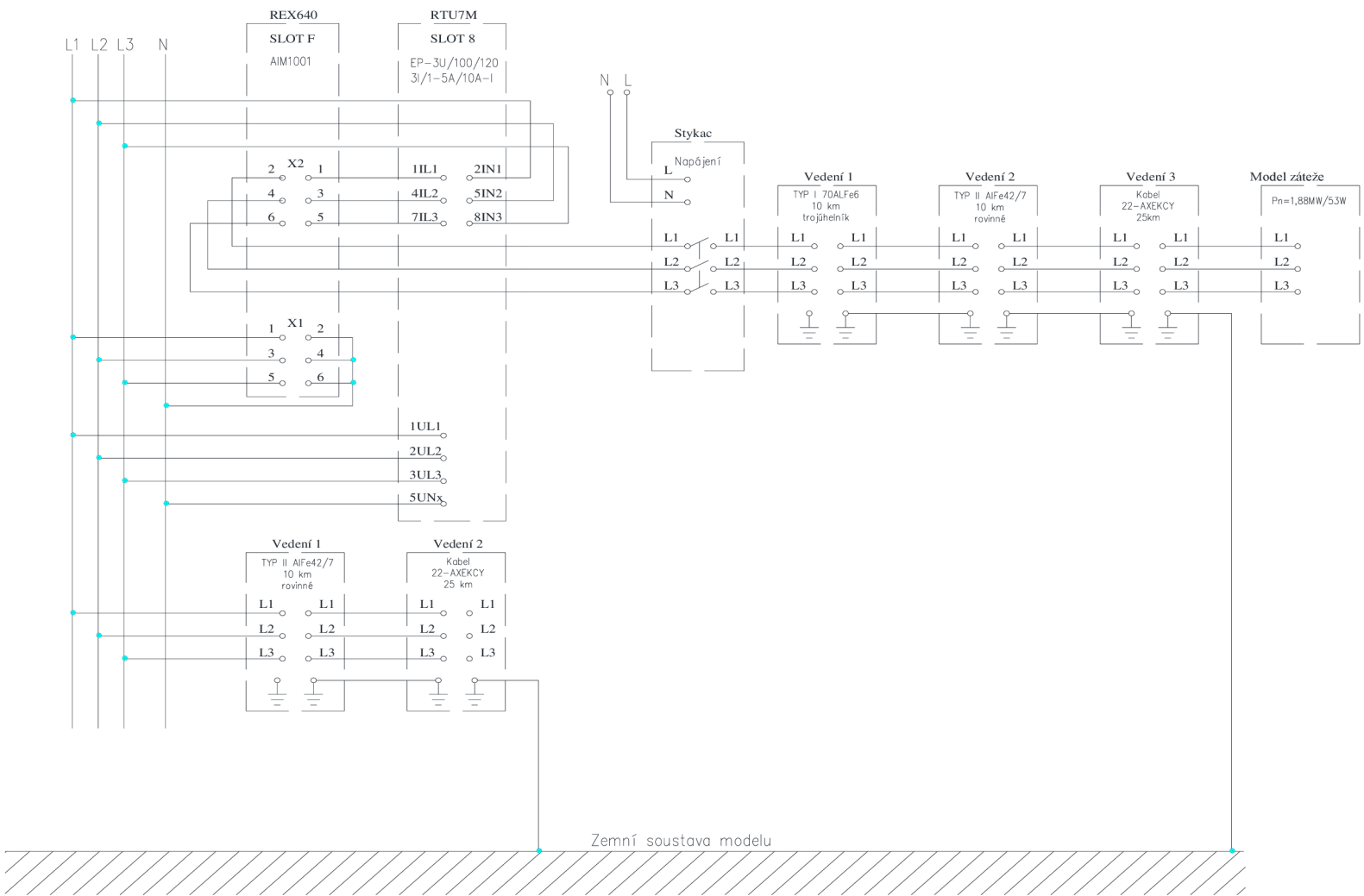
Jednotka RTU7M

Ochrana REX640

## Příloha 2 - Schéma zapojení měření – vpřed

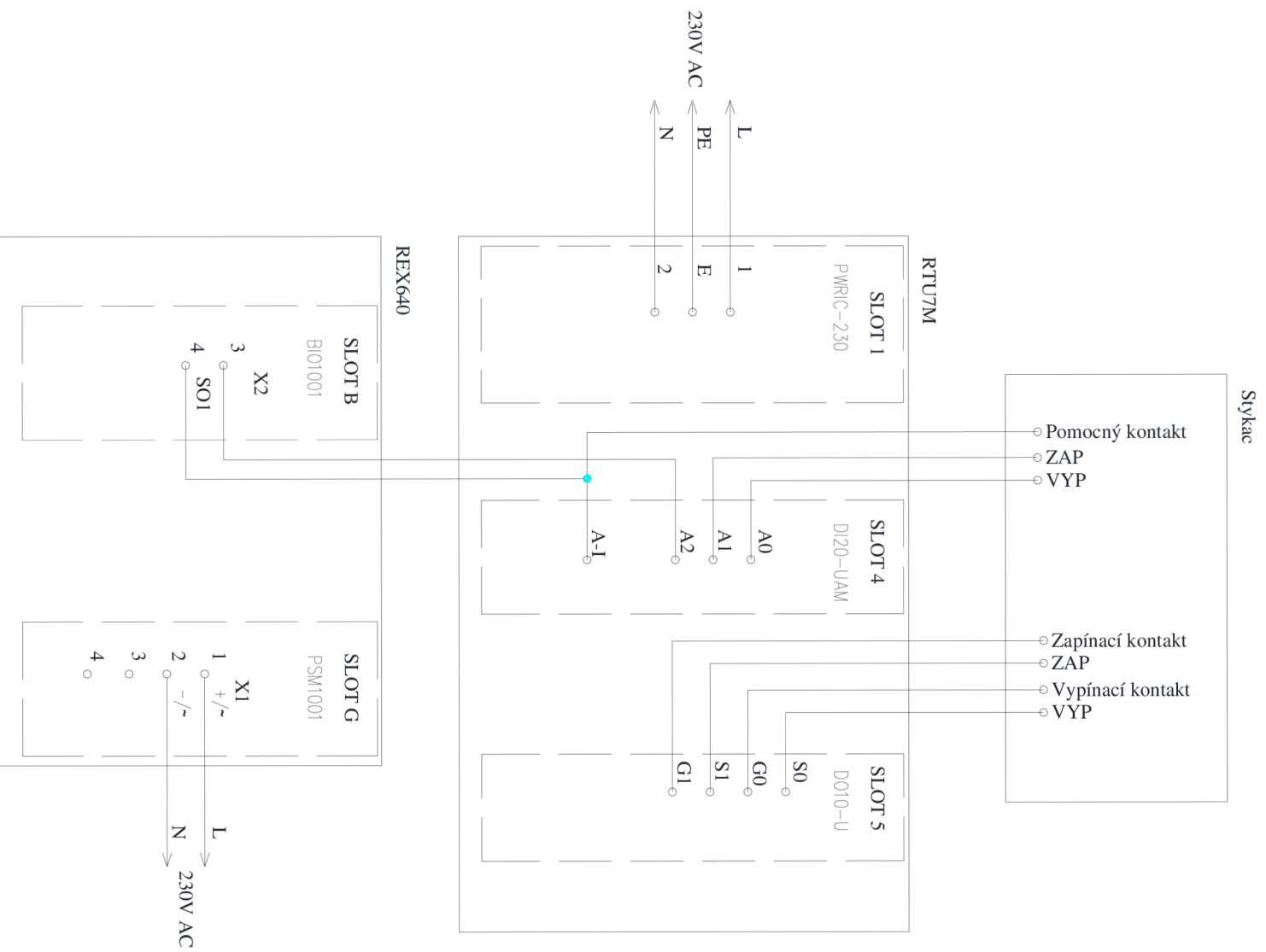


# Příloha 3 - Schéma zapojení měření – vzad

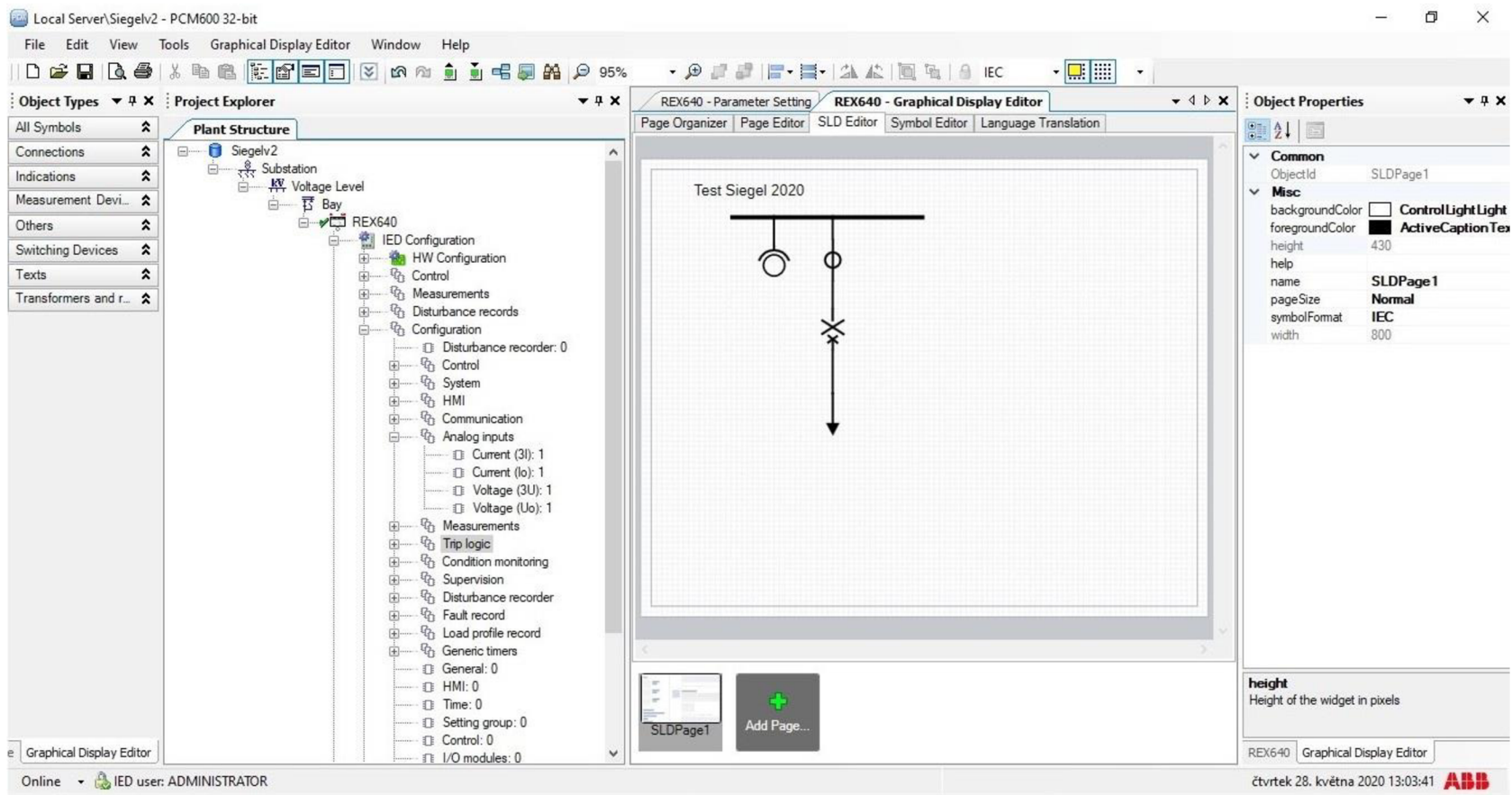




# Příloha 4 - Schéma napájení a signalizace



# Příloha 5 - Pohled na prostředí PC M600



RTU Uživatelské centrum

Strom Uzel Parametr Zobrazit Komunikace Nápověda

**Informace**

**EP-ICC-UI**  
EP-ICC, sig. ochrany 3U+3I, záznamy 3U+3I

Popis:  Změnit

Typ uzlu	slave	Firmware	193.01	Revize	17.5.2019
TCP_client	Siegel - test			EP-ICC-UI	

**Filtr**

Nebo ▼ Nebo ▲ Azároveň

Reset  
Aktivovat

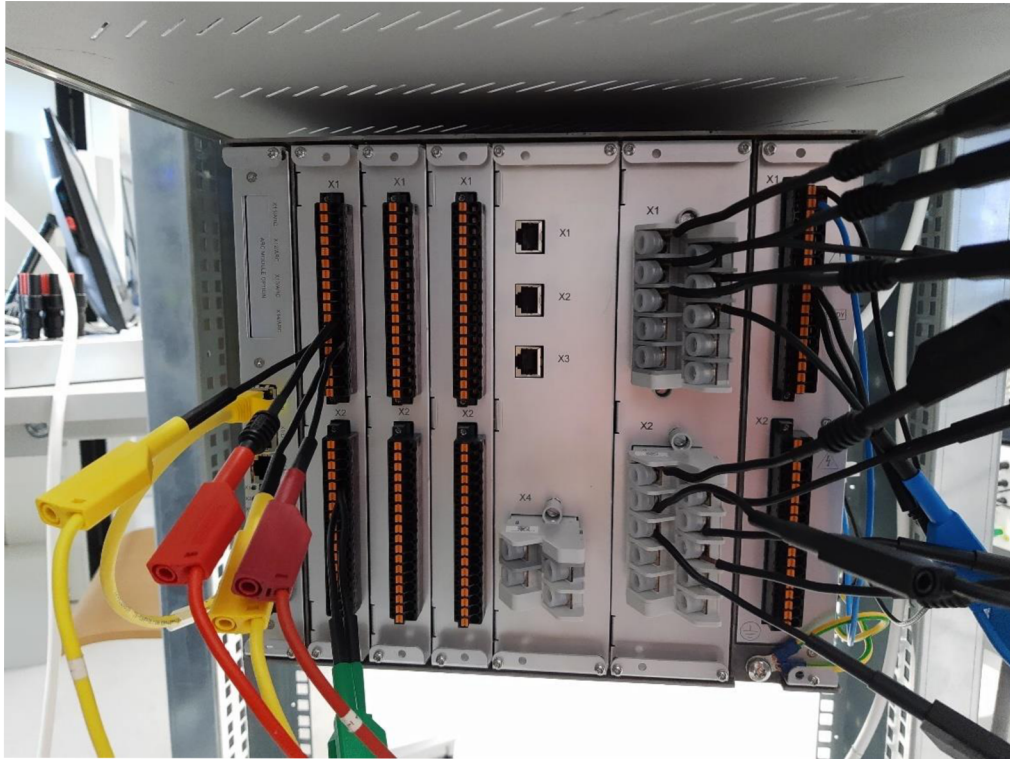
**Popis**

	Hodnota	Popis
TCP_client		
Siegel - test	???	
<b>Komunikacni_modul</b>	???	
Virtualni_jednotka	???	
DI20_UPF	???	
DI_DO-ICC D01	???	
<b>EP-ICC-UI</b>	???	
Výrazy	???	Soubor výrazů
UPF	???	Univerzální parametrizační soubor
AAPM-3U3I	???	
REC	???	
AI000-I1		
AI001-I2		
AI002-I3		
AI003-Istr		
AI004-3I0		
AI005-Uf1		
AI006-Uf2		
AI007-Uf3		
AI008-Ufstr		
AI009-U0		
AI010-U12		
AI011-U23		
AI012-U31		
AI013-U <sub>s</sub>		
AI014-P		
AI015-Q		
AI016-S		
AI017-cosφi		
AI018-QL		
AI019-QC		
AI020-cosφ0		
AI021-Frekvence		
AI022-U <sub>x</sub>		

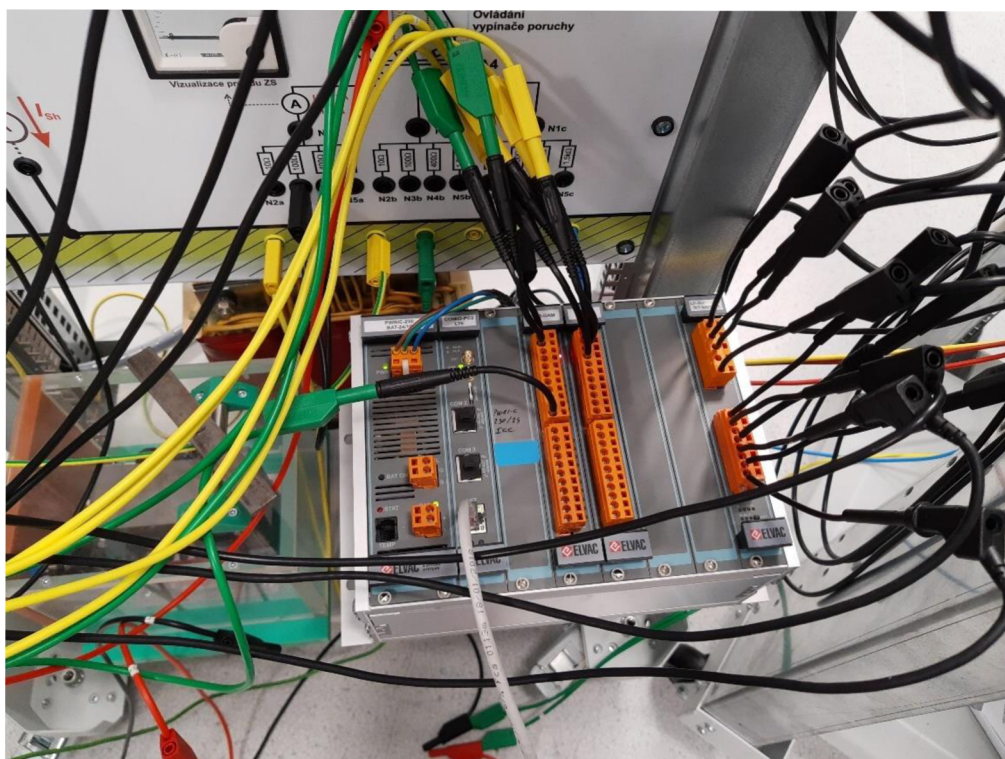
Parametry	Aktuální data	Adresy
<b>Základní parametry</b>		
Aktivní		ANO
Pozice ve sběrnici		8
ID šasi		0
<b>Zprávy</b>		
Interval opakování zpráv		7 s
Max. počet opakování		10
Max. doba bez zpráv		90 min
Interval mezi zprávami		100 ms
Interval mezi zpr. č. 5		5 min
Podmínky pro zpr. č. 6		255
<b>Další nastavení</b>		
Zdroj 3I0		t z fázových hodnot
Výpočet výkonů P a Q		3Uf 3If
Přenos měření		desetinné číslo
Polarity I1		Přímá
Polarity I2		Přímá
Polarity I3		Přímá
Polarity I0		Přímá
Pole		Pravotočivé
Necitlivost měření		ANO
Posílat napětí na vnitřní sběrnici		NE
Napětí z vnitřní sběrnice		Ne
Referenční napětí z vnitřní sběrnice		Ne
<b>Nastavení kanálu</b>		
Použitý rozsah		Primární
<b>Rozsahy proudových vstupů</b>		
Sekundární jmenovitý rozsah I		1 A
Sekundární maximální rozsah I		10 A
Sekundární jednotka I		A
Primární jednotka I		A
Primární součinitel převodu snímače I		160 A
Sekundární součinitel převodu snímače I		1 A
<b>Rozsahy napěťových vstupů</b>		
Maximální měřené napětí		sdužené
Sekundární jmenovitý rozsah U		100 V
Sekundární součinitel převodu snímače U		100 V

ON-line (zápis) | EP-ICC\_UI.193001 (59), TECFileGroupSlave, (0)= | verze 5.8.14.2 (1)

## Příloha 7 - Svorkovnice testovaných jednotek



REX640, ABB



RTU7M-8, Elvac