



Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VYUŽITÍ PROCESNÍ SBĚRNICE DLE IEC61850-9-2 PRO CHRÁNĚNÍ
LINKOVÉHO VEDENÍ

Autor práce: Bc. Václav Srogončík
Vedoucí práce: Ing. Jana Jiříčková, Ph.D.

Plzeň 2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Václav SROGONČÍK**
Osobní číslo: **E17N0088P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Téma práce: **Využití procesní sběrnice dle IEC61850-9-2 pro chránění linkového vedení**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte technický popis návrhu chránění pomocí process-busu merging unita, klient process-bus, topologie sítě, časová synchronizace.
2. Vysvětlete strukturu konfiguračních dat souborů merging unit poskytujících samplované hodnoty (SMV).
3. Popište způsob konfigurace ochranných funkcí realizovaných za pomoci process-busu.
4. Proveďte teoretické a praktické porovnání konvenčního měření a process-busu linkové ochrany s distanční a nadproudovou funkcí.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. GRYM, Rudolf et al. Chránění II: elektrická zařízení vysokého napětí: chránění zařízení v průmyslu. Havířov: Iris, 2004. 305 s. Pracovní a učební pomůcka. ISBN 80-903540-0-9.

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

Datum zadání diplomové práce: **4. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



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

L.S.

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

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá možnostmi zařízení Merging Unit, navrženého pro měření, digitalizaci (podle IEC61850) a poskytování naměřených hodnot ochranám pro linkové vedení využitím procesní sběrnice. První část je zaměřená na popis chránění linkového vedení, normu IEC 61850 a ISO/OSI model pro popsání síťové komunikace. Poté jsou popsány přístroje SIPROTEC 5 7SA87, Merging unit 6MU805 a Omicron CMC256 Plus potřebné pro praktickou část. Dále je popsáno nastavení ochranných funkcí distanční ochrany a nadproudové ochrany v DIGSI5 pro SIPROTEC 5 7SA87. Teoretická část je zakončena vysvětlením nahrazení klasického připojení připojením s Merging Unitou, popisem struktury konfiguračních dat a jejich vytvořením. V praktické části je ověřeno, že i samplované hodnoty přístrojem Merging Unit zajistí požadované působení ochranných funkcí a to jak v hodnotách dle použité funkce, tak v čase.

Klíčová slova

Ochrana linkového vedení, Distanční ochrana, Nadproudová ochrana, Merging Unit, IEC 61850, ISO/OSI

Abstract

This diploma thesis deals with the possibilities of the Merging Unit device, designed for measurement, digitalization (according to IEC61850) and providing measured values to line protections using the process bus. The first part is focused on the description of line protection, the IEC 61850 standard and the ISO / OSI model for describing network communication. Then the SIPROTEC 5 7SA87, Merging unit 6MU805 and Omicron CMC256 Plus devices required for the practical part are described. The settings of the protection functions of distance protection and overcurrent protection in DIGSI5 for SIPROTEC 5 7SA87 are described in next chapter. The theoretical part ends with an explanation of the replacement of the classic connection with a connection with the Merging Unit, a description of the structure of configuration data and their creation. In the practical part, it is verified that even the sampled values by the Merging Unit device ensure the required action of the protective functions, both in the values according to the used function and in time.

Keywords

Line protection, Distance protection, Overcurrent protection, Merging Unit, IEC 61850, ISO / OSI

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 10. července 2020

Bc. Václav Srogončík

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Janě Jiříčkové, Ph.D. a panu Ing. Stanislavu Burešovi za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce.

Obsah

Úvod	12
1 Úvod do problematiky chránění vedení a možností komunikace	13
1.1 Koncept chránění linkového vedení	13
1.1.1 Distanční ochrana	13
1.1.2 Nadproudová ochrana	16
1.2 Primární a sekundární hodnoty měřených veličin	17
1.3 Vzorkování	18
1.4 Komunikace v síti	18
1.4.1 Komunikační protokol IEC 61850	19
1.4.2 ISO/OSI model ethernetu	20
1.4.3 Multicast	21
1.4.4 RSTP - Rapid spanning tree protocol	22
1.4.5 HSR - High-availability Seamless Redundancy	22
1.4.6 PRP - Parallel Redundancy Protocol	23
2 Použité přístroje	25
2.1 Ochrana SIPROTEC 5 7SA87	25
2.1.1 Získávání měřených hodnot ochranou 7SA87	25
2.1.2 Konfigurace ochrany	26
2.1.3 Funkční skupina	27
2.1.4 Časová synchronizace SIPROTEC 5 7SA87	29
2.2 Merging unit 6MU805	31
2.2.1 Získávání a slučování multikanálových dat	32
2.2.2 Distribuce samplovaných hodnot	32
2.2.3 Formát samplovaných hodnot	32
2.2.4 Synchronizace samplovaných hodnot	33
2.2.5 IRIG-B	34
2.3 Omicron CMC256 Plus	34
3 Konfigurace ochranných funkcí	36
3.1 Distanční ochrana	36
3.1.1 Distanční ochrana pro uzeměné systémy	36
3.1.2 Struktura funkce	36
3.1.3 Provozní režim	37
3.1.4 Nastavení distanční ochrany	37

3.2	Nadproudová ochrana	40
3.2.1	Struktura funkce	40
3.2.2	Nastavení nadproudové ochrany - Časově nezávislá křivka	40
3.2.3	Nastavení nadproudové ochrany - Inverzní křivka	43
4	Náhrada klasického připojení pomocí MU	46
4.1	Struktura konfiguračních dat souborů MU a konfigurace process bus	46
4.1.1	Struktura IID MU	47
4.1.2	Process-Bus Client in SCD Files	51
4.2	Konfigurační informace	52
4.2.1	Funkcionalita Merging Unit	52
4.2.2	PPS/IRIG-B rozhraní	54
4.2.3	Kontrola rozhraní synchronizace času	54
4.3	Návrh ochrany linkového vedení pomocí process busu	55
5	Laboratorní měření	56
5.1	Zapojení Omicronu	57
5.2	Zapojení ochrany 7SA87 bez MU	58
5.3	Zapojení MU	59
5.4	Zapojení ochrany 7SA87 s MU	60
5.5	Měření funkce distanční ochrany	61
5.6	Měření funkce nadproudové ochrany	64
5.7	Zachycení komunikace programem Wireshark	68
6	Závěr	70

Seznam použitých symbolů a zkratek

V_x	[V]	Hodnota napětí ve fázi x
I_x	[A]	Hodnota proudu ve fázi x
I_P	[A]	Hodnota primárního proudu
I_S	[A]	Hodnota sekundárního proudu
Z_x	[Ω]	Impedance fáze x
Z_L	[Ω]	Impedance vedení
Z_P	[Ω]	Impedance zdroje
S'_{SC}	[VA]	Zkratový výkon na začátku vedení
R_x	[Ω]	Odpor fáze x
X_x	[Ω]	Reaktance fáze x
φ	[$^\circ$]	fázový úhel
P_{MAX}	[VA]	Maximální přenesený výkon

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratky

IANA	Autorita pro přidělování čísel na internetu (Internet Assigned Numbers Authority)
IP	Internetový protokol (Internet Protocol)
ISO	Mezinárodní standardizační organizace (International Standardization Organization)
OSI	Propojení otevřeného systému (Open system interconnection)
MAC	MAC adresa (Media Access Control)
MMS	Multimediální zprávy (Multimedia Messaging Service)
LAN	Místní síť (Local Area Network)
GSSE	Generická stavová událost rozvodny (Generic Substation State Events)
GOOSE	Objektově orientovaná událost rozvodny (Generic Object Oriented Substation Event)
GSE	Všeobecná událost rozvodny (Generic Substation Event)
SE	Elektronický senzor
MU	Merging unit
IED	Inteligentní elektronické zařízení (Intelligent electronic device)
IID	Okamžitý popis IED (Instantiated IED Description)
CB	Jistič (Circuit breaker)
CT	Proudový transformátor (Current transformer)
VT	Napěťový transformátor (Voltage transformer)
BI	Binární vstup (Binary input)
BO	Binární výstup (Binary output)
SV	Navzorkované hodnoty (Sampled values)
SMV	Navzorkované naměřené hodnoty (Sampled measured values)
LD	Logické zařízení (Logical device)
LN	Logický uzel (Logical node)
DO	Datový objekt (Data object)
DA	Datový atribut (Data attribute)
SMVCB	Kontrolní blok navzorkovaných hodnot (Sampled Measured Values Control Block)
RSTP	Protokol rychle se překlenujícího stromu (Rapid spanning tree protocol)
STP	Protokol překlenujícího se stromu (Spanning tree protocol)
PRP	Protokol paralelní redundance (Parallel Redundancy Protocol)
HSR	Bezproblémová redundance s vysokou dostupností (High-availability Seamless Redundancy)
PPS	Puls za sekundu (A pulse per second)
GPS	Globální Polohovací Systém (Global Positioning System)
IRIG – B	(Inter-range instrumentation group)
PC	Osobní počítač (Personal computer)

Úvod

Tato práce se zabývá možnostmi zařízení merging unit, navrženého pro měření, digitalizaci (podle IEC61850) a poskytování naměřených hodnot ochranám pro linkové vedení využitím procesní sběrnice.

Práce začíná seznámením s problematikou chránění linkového vedení a představením koncepce ochranných funkcí. Postupně se pak zabývá problematikou získávání a přenosu signálu měřených hodnot a komunikace v síti. To zahrnuje seznámení s ISO/OSI modelem ethernetu a protokolem IEC61850. V závěru úvodní části jsou zmíněny protokoly, které jsou možné využít pro redundanci síťového připojení.

Dále se práce zabývá popisem jednotlivých přístrojů použitých v praktické části práce. Konkrétně přístroji SIPROTEC 5 7SA87, Merging unit 6MU805 a Omicron CMC256 Plus. Zabývá se funkcemi těchto přístrojů, jejich parametrizací a strukturou. V poslední řadě jsou zmíněny možnosti časové synchronizace a jejího nastavení.

Následující kapitola obsahuje popis ochranných funkcí, jejich nastavení a nastavení jejich parametrů. Jsou to funkce distanční a funkce nadproudová. Popis je obecný s příklady nastavení. Konkrétní nastavení parametrů ochranných funkcí užitých v praktické části práce je pak popsáno v poslední kapitole.

Následuje popis nahrazení klasického připojení pomocí připojení s MU. To zahrnuje popis struktury konfiguračních dat souborů MU podle již zmíněné normy IEC61850. Dále popisuje nastavení těchto souborů pomocí programů DIGSI 5, IEC 61850 System Configurator a ProConf. Na konci této kapitoly je popsána kontrola časové synchronizace a návrh chránění linkového vedení užitím merging unit.

V závěru této práce je cílem ověřit, že i samplované hodnoty přístrojem merging unit zajistí požadované působení ochranných funkcí a to jak v hodnotách dle použité funkce, tak v čase. Toho dosáhneme porovnáním konvenčního měření bez merging unity a process-bus linkové ochrany s merging unit využitím distanční a nadproudové ochrany.

1 Úvod do problematiky chránění vedení a možností komunikace

1.1 Koncept chránění linkového vedení

Protože délka vedení pro přenos elektrické energie je obecně dostatečně dlouhá a prochází otevřenou atmosférou, je pravděpodobnost výskytu poruchy na vedení pro přenos elektrické energie mnohem vyšší než u transformátorů a alternátorů elektrické energie. Proto přenosové vedení vyžaduje mnohem více ochranných systémů než transformátor a alternátor [10].

Ochrana vedení by měla mít některé speciální vlastnosti, jako jsou:

- Během poruchy by měl být vypnut pouze jistič, který je nejbližší k bodu poruchy.
- Pokud jistič nejbližší k chybnému bodu selže, jistič těsně vedle tohoto jističe se vypne jako záloha.
- Provozní doba relé spojená s ochranou vedení by měla být co nejmenší, aby se zabránilo zbytečnému vypnutí jističů spojených s jinými zdravými částmi energetického systému.

Tyto výše uvedené požadavky způsobují, že ochrana linkového vedení se výrazně liší od ochrany transformátoru a dalších zařízení energetických systémů. Hlavní tři způsoby ochrany přenosového vedení jsou [10]:

- Časově odstupňovaná nadproudová ochrana
- Rozdílová ochrana
- Distanční ochrana

V našem návrhu využijeme kombinace distanční a záložní nadproudové ochrany.

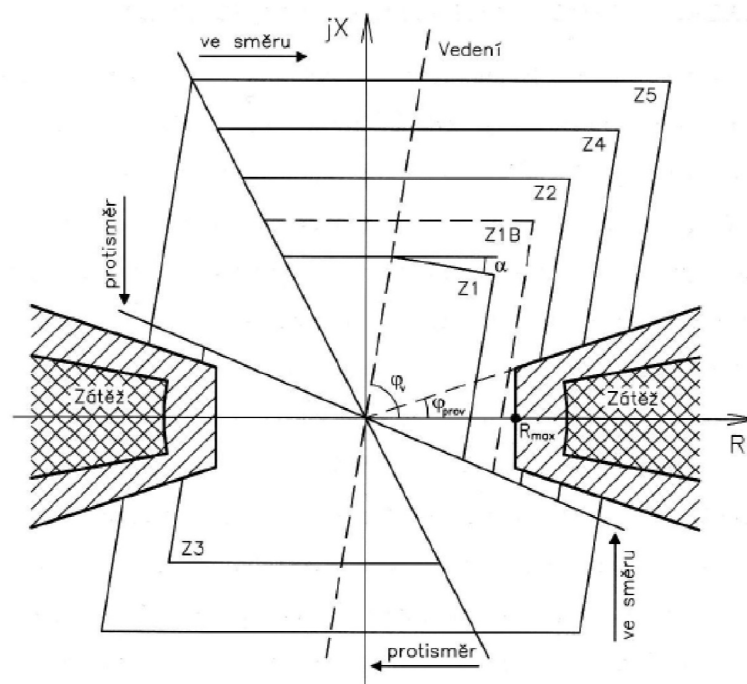
1.1.1 Distanční ochrana

Dříve se k ochraně vedení používala distanční relé, známá také jako impedanční relé. V zásadě se liší od jiných forem ochrany tím, že jejich působení není řízeno velikostí proudu nebo napětí v chráněném obvodu, ale poměrem těchto dvou veličin. Distanční relé jsou ve skutečnosti dvojitá relé veličin s jednou cívkou napájenou napětím a druhou cívkou proudem. Relé pracuje pouze tehdy, když poměr V / I klesne pod předem stanovenou

hodnotu. Napětí v místě přístrojového transformátoru závisí na vzdálenosti mezi přístrojovým transformátorem a poruchou. Pokud je naměřené napětí menší, znamená to, že se ke zkratu došlo blízko a obráceně. Díky tomu se dá i určit, v jaké vzdálenosti došlo k poruše vedení.

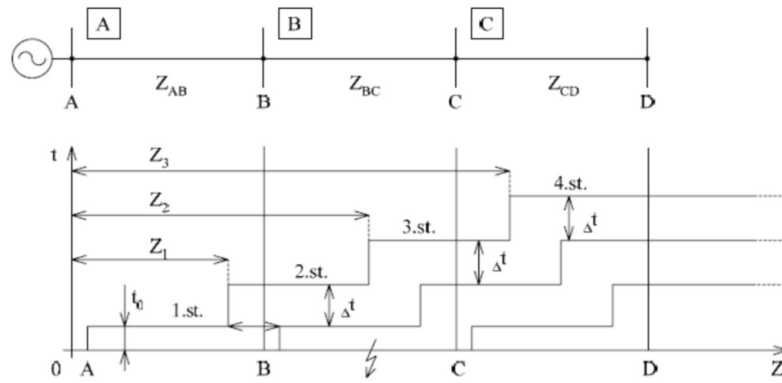
V dnešní době se již nepoužívají relé, ale software simulující tyto relé reagující na popudy vypočítané z hodnot naměřených přístrojovými transformátory.

U moderních digitálních ochranných systémů se používá ochrana spouštějí jednotlivé měřicí zóny. Příkladem takového systému je pracovní polygon na obrázku 1.1 [2].



Obrázek 1.1: Pracovní polygon [2]

Pro nastavení ochrany v určitém místě musíme znát impedance jednotlivých úseků zakreslených na obrázku 1.2.



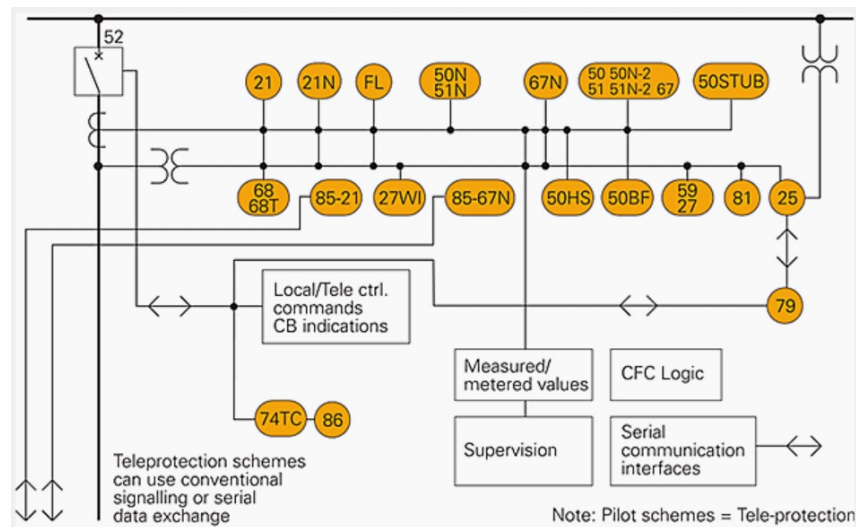
Obrázek 1.2: Impedance jednotlivých úseků distanční ochrany [4]

Pro nastavení ochrany v místě A tedy potřebujeme znát impedance pro každý stupeň[4]:

- 1. rychlý stupeň: $Z_1 = k * Z_A$
- 2. stupeň: $Z_2 = k(Z_{AB} + k * Z_{BC})$
- 3. stupeň: $Z_3 = k[Z_{AB} + k * (Z_{BC} + k * Z_{CD})]$
- 4. stupeň: dosah je dán citlivostí popudového členu ochrany

k ... Bezpečnostní koeficient, který závisí na očekávané přesnosti měření impedance a bývá 0,8 až 0,9.

Příklad provedení distanční ochrany se záložní nadproudovou ochranou lze vidět na obrázku 1.3.

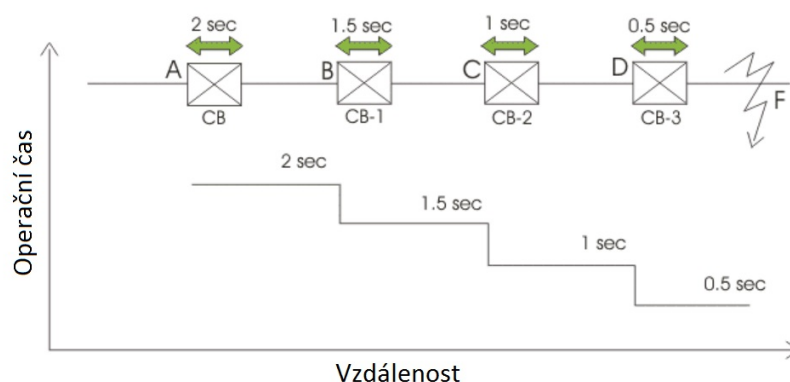


Obrázek 1.3: Jednopolové schéma distanční ochrany SIPROTEC 7SA522

1.1.2 Nadproudová ochrana

Ochrana vedení pomocí určitého časového relé

Tato část ochrany je velmi jednoduchá. Zde je vedení rozděleno do různých sekcí a každá sekce je opatřena určitým časovým relé. Relé nejbližší ke konci linky má minimální nastavení času působení, zatímco nastavení času působení ostatních relé se postupně zvyšuje směrem ke zdroji [10].



Obrázek 1.4: Příklad selektivity nadproudové ochrany pomocí časově nezávislých relé [10]

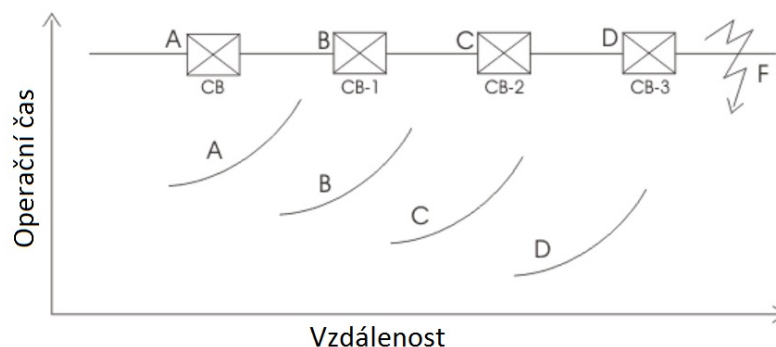
Hlavní výhodou tohoto systému je jednoduchost. Druhou hlavní výhodou je, že během poruchy bude pracovat pouze nejbližší jistič směrem ke zdroji od bodu poruchy, aby se izolovala konkrétní část vedení [10].

Pokud je počet úseků vedení poměrně velký, nastavení času relé nejbližší ke zdroji by bylo velmi dlouhé. Takže při jakékoli poruše blízko zdroje bude trvat dlouho, než ochrana zapůsobí. To může způsobit vážné poškození systému, nebo jeho částí [10].

Nevýhoda chránění vedení v určitém čase, lze překonat pomocí inverzních časových relé. U inverzního relé je doba provozu nepřímo úměrná poruchovému proudu [10].

Ochrana vedení pomocí inverzního časového relé

U inverzního relé je doba provozu nepřímo úměrná poruchovému proudu. Na obrázku 1.5 je vidět odstupňování časově inverzních relé.



Obrázek 1.5: Příklad selektivity nadproudové ochrany pomocí časově inverzních relé [10]

Přestože je nastavení času relé nejbližší ke zdroji maximální, stále se vypne v kratším časovém úseku, dojde-li k velké poruše poblíž zdroje, než časově nezávislé relé, protože operační čas relé je nepřímo úměrný chybovému proudu. Čím vyšší je zkratový proud, tím dříve ochrana zapůsobí [10].

Nastavením parametrů těchto ochranných funkcí pro ochranu SIPROTEC 5 7SA87 se věnuji v kapitole *konfigurace ochranných funkcí*. Jejich konkrétní nastavení je pak uvedeno v praktické části práce.

1.2 Primární a sekundární hodnoty měřených veličin

Pro správné působení ochranných funkcí musíme znát průběh veličin charakterizující stav sítě. K tomu slouží měřicí přístrojové transformátory, které transformují primární hodnoty v síti na normované hodnoty sekundární.

Zařízení SIPROTEC 5 7SA87 je defaultně nastaveno na přijímání sekundárních hodnot přímo z přístrojových transformátorů. V konfiguračním programu DIGSI5 se pak nastaví transformační poměr přístrojových transformátorů a je také možnost přepínání mezi zobrazením primárních a sekundárních hodnot při práci v DIGSI5.

V praktické části práce nám však místo přístrojových transformátorů bude signály sekundárních hodnot poskytovat zařízení OMICRON CMC256 Plus. Toto zařízení bude nahrazovat chráněné vedení i měřicí přístrojové transformátory.

1.3 Vzorkování

Jelikož budeme naměřené diagnostické hodnoty digitalizovat, musíme zajistit, že budeme schopni správně rekonstruovat navzorkovaný signál. K tomu nám pomůže Nyquistův teorém.

Vzorkovací frekvence (sampling rate) definuje počet vzorků za jednotku času (obvykle za 1 sekundu) načítaných ze spojitého analogového signálu při jeho přeměně na diskrétní signál. Pro signály v časové doméně je jednotkou pro vzorkovací frekvenci 1 hertz. Převrácená hodnota vzorkovací frekvence je vzorkovací perioda nebo vzorkovací interval, neboli čas mezi vzorky.

Nyquistův vzorkovací teorém říká, že dokonalá rekonstrukce signálu je možná pouze tehdy, když je vzorkovací frekvence větší než dvojnásobek maximální frekvence vzorkovaného signálu, neboli když Nyquistova frekvence (polovina vzorkovací frekvence) je vyšší než nejvyšší frekvence vzorkovaného signálu. Při použití nižší vzorkovací frekvence se po převodu zpátky na analogový signál mohou v důsledku tzv. aliasingu objevit ve výsledném signálu frekvence, které v původním signálu nebyly.

Jak ochrana 7SA87, tak MU mají vnitřní vzorkovací frekvenci 16 kHz a nabízejí možnost vzorkování o frekvenci 1, 2, 4 až 8 kHz. Podle normy IEC 61850-9-2LE bude MU vzorkovat 4000 vzorků za sekundu. S vzorkovací frekvencí 4kHz by mělo být zajištěno správné vzorkování signálů s frekvenčním pásmem až do 2kHz.

My budeme samplovat síťový signál o frekvenci 50 Hz. Tento signál proběhne jedním cyklem každých 0.02 vteřiny. Pak tedy počet samplů na jeden sinový cyklus - N je:

$$N = 0,02 \cdot 4000 = 80 \quad (1.1)$$

Budeme mít tedy k dispozici 80 vzorků pro rekonstrukci každého cyklu sinusové křivky.

1.4 Komunikace v síti

Aby byla možná komunikace mezi zařízeními, rozvodnami a dispečinkem, tak bylo nutné komunikaci sjednotit. Za tímto účelem vzniklo několik protokolů a norem zabývajících se touto problematikou. Díky tomu jsou zařízení i rozvodny snáze rozšířeny, jelikož nové technologie a přístroje jsou navrženy tak, aby všechny byly kompatibilní s platnými normami.

1.4.1 Komunikační protokol IEC 61850

Tento standard definuje metodu komunikace, komunikační protokol, komunikační rozhraní a objektově orientované datové modely pro oblast energetiky a elektrizačních soustav s ohledem na nynější i budoucí požadavky a definuje tak komunikaci jak mezi ochranami v rozvodně, tak komunikaci mezi jednotlivými rozvodnami a dokonce i mezi rozvodnami a dispečinkem [4].

IEC 61850 se skládá ze tří úrovní:

- Bay
- Station bus
- Process bus

Komunikace na úrovni Bay

v této úrovni jsou ochrané a kontrolní funkce prováděny pomocí IED. K tomu je potřeba aby IED získalo hodnoty z CT/VT. Ty jsou získány na úrovni process bus a to pomocí MU, která poskytuje samplované hodnoty a posílá je pomocí IEC61850 do IED. Struktura souborů IED a komunikace mezi úrovněmi je podrobněji popsána v kapitole **náhrady klasického připojení pomocí MU**.

Komunikace na úrovni Process bus

Process bus je interakcí mezi primárním zařízením jako jsou například napěťové a proudové transformátory určené k získání sekundárních hodnot měřených veličin a sekundárního zařízení v kontrolní místnosti. Tato interakce je umožněna Merging unit.

Komunikace na úrovni Station

Dle IEC 61850-7-2 jsou definovány pro přenos informací v rámci horizontální komunikace zprávy typu GSE (Generic Substation Event – všeobecná událost rozvodny) využívající pro přenos tzv. multicasting. Kdy při multicastingové komunikaci jsou data přijímána pouze určitou skupinou ochranných zařízení [4].

Zprávy typu GSE jsou rozděleny do dvou tříd:

- GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events) – objektově orientovaná událost rozvodny
- GSSE (Generic Substation State Events) – generická stavová událost rozvodny

GOOSE:

Stavová data a hodnoty proměnných jsou organizována do data setů a přenášena v jednotném časovém intervalu přes místní síť LAN zařízení, které jsou registrované pro odběr těchto dat v rámci multicastingu. Na tuto komunikaci jsou kladeny přísné požadavky, protože reakce ochran je závislá na rychlých reakcích ostatních zařízení [4].

GSSE:

Prostřednictvím GSSE se přenášejí pouze stavová data. Využívá se přitom stavový seznam, což je řetězec bitů a ne datový objekt. Zprávy GSSE jsou na rozdíl od GOOSE zpráv přenášeny prostřednictvím MMS. Ve srovnání s GOOSE trvá jejich zpracování a přenos déle [4].

1.4.2 ISO/OSI model ethernetu

OSI-model (Open system interconnection) podle ISO (International Standardization Organization) rozděluje proces komunikace na několik vrstev. Každá vrstva má svou vyhrazenou funkci. Každá vrstva komunikuje s ní podřazenou, ale i nadřazenou vrstvou pomocí definovaného rozhraní. Nově implementované funkce mají k těmto rozhraním přístup. Tato komunikace je zprostředkována protokoly několika vrstev. Nás bude zajímat hlavně druhá vrstva využívající protokol Ethertype - MAC adresa, protože v této vrstvě bude odesílat MU informace ochraně. Tuto komunikaci se pokusíme odposlechnout pomocí programu Wireshark.

Funkce různých OSI vrstev [4]:

- 1. Zabezpečený přenos bitů
- 2. Detekce poruchy a přístup k médiu
- 3. Linkové spojení do různých sítí, routování
- 4. End-to-end spojení mezi procesy ve dvou spojených zařízeních, kontrola chyb
- 5. Synchronizace a management spojení
- 6. Přízpusobení/změna formátu, kódování, šifrování
- 7. Zajištění funkcí pro uživatele (aplikace)

Adresace ethernetu

V druhé vrstvě OSI modelu probíhá adresace pomocí MAC adres - 48 bitová adresa. V této vrstvě bude probíhat komunikace mezi MU a ochranou [4].

- Unitcast adresy - první oktet sudý - slouží pro výměnu informací point-to-point
- Multicast adresy - první oktet lichý - slouží pro výměnu dat metodou publisher-subscriber
- Broadcast adresa -FF FF FF FF FF FF- slouží k vysílání dat všem účastníkům

Adresace IP

Používá adresaci čtyřmi oktety (IP V4). Síť rozděluje pomocí masky subsítě a adresy rozděluje na veřejné a privátní (IANA). Zajišťuje spojení různých sítí pomocí routerů [4].

Pro požadovaná rozhraní je definován logický uzel - **Logical Node**. Norma popisuje více než 90 rozhraní (např.:PDIS - Protection Distance, XCBR - Circuit Breaker) [4].

Tyto logické uzly jsou sekupeny do logických zařízení - **Logical Device** (např.:ovládání, ochranné funkce) [4].

Popis zařízení je proveden jazykem SCL (Substation Configuration Description Language) do souboru **ICD**. Popis rozvodny je zapisován pomocí SCL do souboru **SCD** [4].

Každý **Logical Node** je tvořen několika datovými objekty. Propojením těchto objektů mezi logickými uzly dvou zařízení může dojít k výměně informací [4].

Datové objekty jsou plněny datovými atributy jako aktuální hodnotou [4].

1.4.3 Multicast

Multicast je technika přenosu packetů ze zdroje do více příjemců. Na první pohled by se podobá technologii broadcast, ale rozdíl je v tom, že příjemce mají v případě multicastu kontrolu nad tím, jaké packety jim budou doručeny. Mohou „projevit zájem“ o určité packety sítě a multicastová síť doručí pouze packety o které si receiver řekne. V případě broadcast technologie, pokud si receiver řekne o informaci, bude tato informace doručena všem příjemcům. V případě multicastu se tak snižuje „provoz“ v síti. Největší rozdíl multicastu oproti ostatním systémům je však chování zdroje. Multicast zdroj vytvoří pouze jednu kopii packetů, které jsou poslány dále do sítě, kde mohou být dále replikovány (v multicast core) a poslány k více příjemcům. Kupříkladu replicated unitcast musí poslat ke každému příjemci vlastní set packetů. Příjemce tak nedostávají nevyžádané packety, určené pro jiné příjemce jako v případě technologie broadcast [4].

Struktura „Source IP“ multicast je stejná jako u unitcast. Rozdíl je v „Destination IP“. Destination IP má svoji vlastní třídu pro snadné rozlišení v routeru. Všechny adresy začínající binárně 1110 jsou „Multicast destination IP“. Po přepočítání jsou to adresy 224.0.0.0 až 239.255.255.255 [4]

1.4.4 RSTP - Rapid spanning tree protocol

Abychom vysvětlili funkčnost RSTP, vysvětlíme nejprve jakým způsobem zachází s dat protokol STP, ze kterého protokol RSTP vychází a je s ním zpětně kompatibilní

STP

Protokol Spanning Tree Protocol (STP) je síťový protokol, který vytváří logickou topologii bez smyček pro síť Ethernet. Základní funkcí STP je zabránit zacyklení. Spanning tree také umožňuje, aby návrh sítě zahrnoval záložní propojení poskytující odolnost proti chybám v případě selhání aktivního spojení [11],[4].

Jak název napovídá, STP vytváří překlenovací strom, který charakterizuje vztah uzlů v síti propojených mostů L2 vrstvy, a zakáže ty propojení, které nejsou součástí překlenovacího stromu, a ponechává jedinou aktivní cestu mezi jakýmikoli dvěma síťovými uzly [11],[4].

Potřeba protokolu Spanning Tree Protocol (STP) vznikla, protože přepínače v lokálních sítích (LAN) jsou často propojeny pomocí redundantních odkazů, aby se zlepšila odolnost v případě selhání jednoho spojení. Tato konfigurace připojení však vytvoří smyčku, která způsobí neustálé vysílání signálu a nestabilitu [11],[4].

RSTP

RSTP poskytuje výrazně rychlejší zotavení v reakci na změny nebo selhání sítě, zavádí nová konvergenční chování a role portů. RSTP bylo navrženo tak, aby bylo zpětně kompatibilní s STP [11],[4].

Zatímco STP může trvat 30 až 50 sekund, než bude reagovat na změnu topologie, RSTP je obvykle schopen reagovat na změny během $3 \times$ Hello time (výchozí nastavení: 3×2 sekundy) nebo během několika milisekund po selhání fyzického spojení [11],[4].

RSTP se vrátí ke staršímu STP rozhraní, pokud je na tomto portu detekována starší verze STP BPDU.

1.4.5 HSR - High-availability Seamless Redundancy

je síťový protokol pro Ethernet, který poskytuje převzetí služeb při selhání jakékoliv síťové komponenty. Tato redundance je pro aplikaci neviditelná [12],[4].

Uzly HSR mají dva porty a fungují jako switche, což umožňuje jejich uspořádání do kruhové nebo síťové struktury. To je v kontrastu s doprovodným standardním protokolem Parallel Redundancy Protocol (IEC 62439-3 článek 4), se kterým HSR sdílí princip fungování [12],[4].

Náklady na HSR spočívají v tom, že uzly vyžadují hardwarovou podporu (FPGA nebo ASIC). Tato cena je kompenzována, protože nejsou zapotřebí žádné switche [4].

HSR nepokrývá selhání koncových uzlů, ale redundantní uzly lze připojit přes HSR [12],[4].

1.4.6 PRP - Parallel Redundancy Protocol

Parallel Redundancy Protocol je redundantní protokol pro síť Ethernet, který je specifikován v IEC 62439-3. Na rozdíl od konvenčních postupů redundance, jako je RSTP, nabízí PRP nepřerušitelné přepínání, které se vyhýbá jakémukoli výpadku v případě poruchy, a tedy nejvyšší dostupnosti. Postup redundance je generován v samotném koncovém zařízení. Princip je jednoduchý: redundantní koncové zařízení má 2 ethernetová rozhraní se stejnou adresou (DAN, Double Attached Node). Stejná indikace je poslána dvakrát, v případě PRP (paralelně) do 2 samostatných sítí a jednoznačně označí obě pořadovým číslem. Příjemce vezme informace, které obdrží jako první, uloží své ID na základě zdrojové adresy a pořadového čísla do duplikátního filtru, a tak rozpozná druhou, redundantní informaci. Tato nadbytečná informace je poté zahozena. Pokud chybí první indikace, přichází druhá indikace se stejným obsahem přes druhou síť. Tato nadbytečnost se vyhýbá postupu přepínání v síti a je tedy bez přerušení. Koncové zařízení nepředává žádné zprávy do druhé sítě. Protože je proces realizován ve vrstvě Ethernet (stejná adresa MAC), je průhledný a použitelný pro všechny protokoly datové sítě Ethernet (IEC 61850, DNP, další protokoly založené na protokolu TCP / IP). Kromě toho je možné použít jednu ze 2 sítí pro přenos neredundantních zpráv. Existují 2 verze PRP: PRP-0 a jeho nástupce PRP-1. Siemens implementuje PRP-1 [13],[4].

Uzly PRP mají dva porty a jsou připojeny ke dvěma odděleným sítím podobné topologie. PRP může být implementován zcela v softwaru, tj. Integrovan do síťového ovladače. Uzly s jedním připojením lze připojit pouze k jedné síti. To je v kontrastu s doprovodným standardem HSR (IEC 62439-3 článek 5), se kterým PRP sdílí princip fungování [13],[4].

PRP a HSR jsou nezávislé na aplikačním protokolu a mohou být použity většinou protokolů Industrial Ethernet v sadě IEC 61784. PRP a HSR jsou standardizovány podle IEC 62439-3: 2016. Byly přijaty pro automatizaci rozvodny v rámci IEC 61850 [13],[4].

PRP a HSR jsou vhodné pro aplikace, které vyžadují vysokou dostupnost a krátkou dobu přepnutí, jako například ochrana elektrických rozvodů. Pro takové aplikace je doba obnovy běžně používaných protokolů, jako je protokol Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP), příliš dlouhá [13],[4].

PRP nepokrývá poruchy koncových uzlů, ale redundantní uzly mohou být připojeny přes síť PRP [13],[4].

2 Použité přístroje

2.1 Ochrana SIPROTEC 5 7SA87

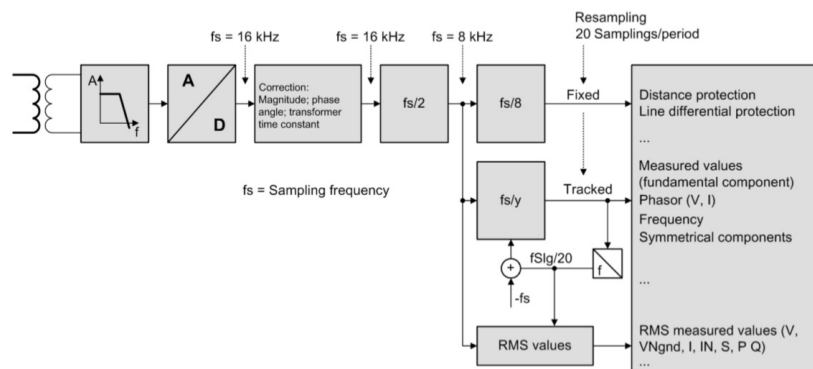
Distanční ochrana SIPROTEC 7SA87 byla speciálně navržena pro ochranu linkového vedení.

2.1.1 Získávání měřených hodnot ochranou 7SA87

Jádro získávání měřené hodnoty představuje 24-bitový A/D převodník sigma / delta. Kromě toho funkce *Oversampling* podporuje vysoké rozlišení měřené veličiny. V závislosti na požadavcích jednotlivých metod měření je vzorkovací frekvence snížena *Downsampling* (převzorkování). V digitálních systémech vedou odchylky od jmenovité frekvence k dalším chybám. Aby se tomu zabránilo, jsou používány 2 procesy závislé na algoritmu[5]:

- Sledování vzorkovací frekvence (*Sampling-frequency tracking*):
Analogové vstupní kanály jsou v cyklech prohledávány pro detekci platných signálů. Stanoví se frekvence a požadovaná vzorkovací frekvence je definována pomocí algoritmu převzorkování. Sledování (*Tracking*) je účinné ve frekvenčním rozsahu mezi 10 Hz a 90 Hz.
- Pevná vzorkovací frekvence - korekce koeficientů filtru (*Fixed sampling frequency – correction of the filter coefficients*):
Tato metoda pracuje v omezeném frekvenčním rozsahu (jmenovitá frekvence +/- 5 Hz). Stanoví se frekvence a v závislosti na stupni frekvenční odchylky se opraví koeficienty filtru. Tato metodika se používá pro funkce distanční ochrany a rozdílové ochrany vedení

Následující obrázek ukazuje řetězec zacházení se vzorkovanými hodnotami při získávání měřených hodnot. Obrázek 2.1 ukazuje, komu jsou k dispozici různé vzorkovací frekvence. Aby se omezila šířka pásma vstupních signálů, je nainstalována dolní propust (anti-aliasingový filtr pro udržení vzorkování). Po vzorkování se upraví aktuální vstupní kanály. To znamená, že rozsah, fáze a časová konstanta transformátoru jsou upraveny.[5]



Obrázek 2.1: Získání měřených hodnot [5]

Interní vzorkovací frekvence zařízení je pevně stanovena na 16 kHz (vzorkovací frekvence: 320 vzorkování na 50 Hz cyklus). Všechny proudové a napěťové vstupy jsou vzorkovány. Pokud se koriguje rozsah, fáze a časová konstanta transformátoru, vzorkovací frekvence se sníží na 8 kHz (160 vzorkování na 50 Hz cyklus). Toto je základní vzorkovací frekvence pro různé procesy, jako je záznam poruch, nebo měření hodnoty RMS. Pro většinu měření a ochran postačuje 20 vzorků za cyklus (pokud je jmenovitá frekvence 50 Hz). Tato vzorkovací frekvence je přiměřeným kompromisem mezi přesností a paralelním zpracováním různých funkcí. 20 vzorků za cyklus bude k dispozici algoritmům ve funkčních skupinách ve 2 variantách [5]:

- **Fixed** - Opraveno (bez převzorkování)
- **Resampled** - Převzorkováno (frekvenční rozsah od 10 Hz do 90 Hz)

V závislosti na algoritmech (viz popisy funkcí) je uvažován příslušný datový tok. Pro vybrané metody měření se používá vyšší vzorkovací frekvence [5].

2.1.2 Konfigurace ochrany

Pro konfiguraci se používá program DIGSI5. Pomocí PC nebo notebooku můžete parametrizovat zařízení prostřednictvím rozhraní a exportovat a vizualizovat data poruch. Editor umožňuje graficky definovat rozvodnu a primární zařízení. Dále umožňuje připojení těchto prvků k ochranným funkcím vašich ochranných zařízení.

Konfigurátor systému Siemens IEC 61850 vám umožňuje konfigurovat a parametrizovat stanice IEC 61850. Pomocí tohoto nástroje můžete spravovat podsítě, síťové komunikátory a jejich adresy IP a propojovat informační položky různých komunikátorů.

Pomocí editoru CFC můžete graficky konfigurovat další funkce, jako je propojení zařízení.

Z katalogu funkcí vybereme ochranné funkce, které má ochrana k dispozici a nastavíme je dle námi zvolených parametrů. V našem případě se bude jednat o distanční a nadproudovou ochranu.

2.1.3 Funkční skupina

Pro ochranu linkového vedení je připravena funkční skupina **Function-Group Type Line**. V této kapitole se podíváme, jaké možnosti nabízí.

Function-Group Type Line

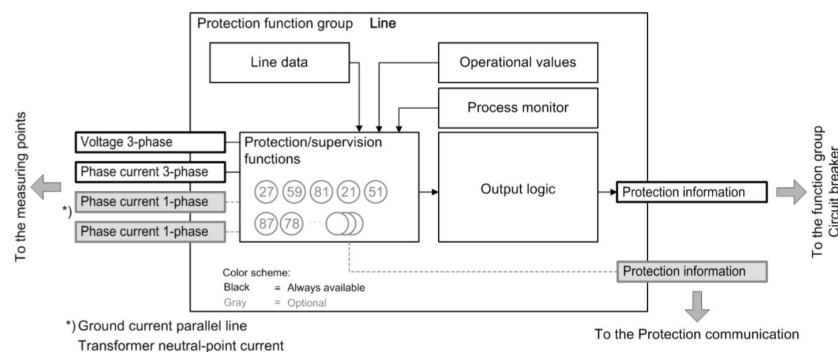
v této skupině lze použít všechny funkce, které jsou nezbytné pro ochranu a monitorování linkového vedení. Skupina funkcí Function-Group Line obsahuje také měřicí funkce. Popis a možnosti nastavení ochranných funkce naleznete v kapitole konfigurace ochranných funkcí [5].

Struktura Function-Group Type Line

Skupina **Function-Group Type Line** vždy obsahuje následující bloky:

- Line data
- Operational Measurement Values
- Process monitor
- Output logic of the function group

Tyto bloky jsou nezbytné, takže je nelze načíst nebo odstranit. Do skupiny funkcí Line můžete načíst ochranné a dohledové funkce, které jsou pro vaši aplikaci potřebné. Funkce jsou k dispozici v knihovně Global DIGSI 5. Funkce, které nejsou potřeba, lze vymazat ze skupiny funkcí. V našem případě to budou funkce distanční a nadproudové ochrany. Na obrázku 2.2 lze vidět jak spolu jednotlivé bloky interagují. [5]



Obrázek 2.2: Struktura funkční skupiny Line [5]

Line data

Data charakterizují vedení, které má být chráněno. Data vedení platí pro všechny funkce ve skupině funkcí Line.[5]

Operational Measurement Values

Provozní naměřené hodnoty jsou vždy přítomny ve skupině funkcí Line a nelze je vymazat. Tato část obsahuje například změřené hodnoty fázových proudů a napětí. Spočítaná napětí mezifázová, nebo například spočítané hodnoty proudů netočivé složky. Dále frekvenci, výkon činný, jalový i zdánlivý. Hodnoty jsou uchovávány v primárních i sekundárních hodnotách.[5]

Process monitor

Monitor procesů je vždy přítomen ve skupině funkcí Line a nelze jej odstranit. Monitor procesů poskytuje ve skupině funkcí Line následující informace:[5]

- Current-flow criterion: Detekce otevřeného / uzavřeného vedení na základě toku minimálního proudu
- Voltage criterion: Detekce otevřeného / uzavřeného vedení na základě přítomného minimálního napětí
- Closure detection: Detekce uzavření vedení
- Cold-load pickup detection: Detekce přechodného stavu sítě po dlouhém odpojení (například výpadek proudu), po kterém následuje automatické opětovné uzavření

Output logic

Výstupní logika zpracovává indikaci ochranných a kontrolních funkcí ve skupině funkcí samostatně, a to buď v pickup logice, nebo výstupní logice. Pickup a výstupní logika generují překrývající se indikace (skupinové signály). Tyto indikace jsou přenášeny přes ochrané informační rozhraní do funkční skupiny jističů a tam jsou dále zpracovávány.[5]

Skupina **Function-Group Type Line** komunikuje, jak lze vidět na obrázku 2.2, pomocí rozhraní s:

- Měřícími body (Measuring points)
- Vypínači (Circuit-breaker function group)

- Komunikace ochrany (Protection communication)

Rozhraní s měřicími body

Funkční skupina Line přijímá požadované měřené hodnoty přes své rozhraní s měřicími body. Pokud používáte šablonu aplikace, je funkční skupina Line již připojena k potřebným měřicím bodům. Pokud přidáte ochranné funkce (distanční, nadproudovou) do skupiny funkcí Line, automaticky obdrží naměřené hodnoty ze správných měřicích bodů. V tomto rozhraní lze také nastavit z jakých kanálů bude potřebné hodnoty jednotka načítat. V rozhraní s měřicími body pak musíme pro připojení s MU použít kanály rozšiřujícího modulu PB201.[5]

Rozhraní s vypínači

Všechna požadovaná data jsou vyměňována mezi funkčními skupinami ochrany a funkčními vypínači přes rozhraní s funkční skupinou vypínačů. Tato data zahrnují například snímací a provozní indikace ochranných funkcí vysílaných ve směru funkční skupiny jističů a například informace o stavu jističů ve směru skupiny ochranných funkcí. Skupina funkcí Line je připojena k jedné nebo více funkčním skupinám jističů. Toto spojení obecně určuje který vypínač je aktivován ochrannými funkcemi, zahájení funkce ochrany proti selhání vypínače (pokud je k dispozici ve skupině funkcí vypínače) prostřednictvím ochranných funkcí, spuštění funkce automatického opětovného zapnutí (AREC, pokud je k dispozici ve skupině funkcí jističe) prostřednictvím ochranných funkcí.[5]

Rozhraní s komunikací ochrany

Všechna požadovaná data jsou vyměňována s ochrannou komunikací přes toto rozhraní. Jedná se například o binární signály, měřené hodnoty a komplexní data. Funkce jako diferenciální ochrana si vyměňují informace s jinými ochrannými zařízeními prostřednictvím ochranného rozhraní. Je-li použita šablona aplikace, skupina ochranných funkcí a ochranná komunikace jsou již navzájem propojeny, protože toto připojení je naprosto nezbytné pro zajištění správného fungování.[5]

2.1.4 Časová synchronizace SIPROTEC 5 7SA87

Časové zaznamenávání procesních dat vyžaduje přesnou časovou synchronizaci zařízení. Integrovaná synchronizace data a času umožňuje přesné chronologické přiřazení událostí k interně spravovanému času zařízení, který se používá k vytvoření časových značek v protokolech, které jsou poté přeneseny do automatizační technologie rozvodny nebo přeneseny přes rozhraní ochrany. Interní modul hodin v zařízení, který má záložní

baterii, je cyklicky synchronizován s aktuálním časem zařízení, takže správný čas zařízení je k dispozici a používá se i v případě selhání pomocného napětí. Současně to umožňuje hardwarově podporované sledování času zařízení.

Struktura funkce

Integrovaná synchronizace data a času zajišťuje dohled. Nastavení parametrů a indikace naleznete v následujících nabídkách pro DIGSI a zařízení:

- Nastavení data a času:

DIGSI: Online access -> Interface -> Device -> Device Information -> Time Information

Device: Main menu → Device functions → Date and Time

- Parametr času:

DIGSI: Project -> Device -> Parameter -> Time Settings

- Časová indikace:

DIGSI: Project -> Device -> Information routing -> Time keeping or Time Sync.

Popis funkce

Každé zařízení SIPROTEC 5 udržuje interní čas zařízení s datem. Datum a čas lze také nastavit na zařízení prostřednictvím místního ovládacího panelu nebo prostřednictvím DIGSI 5. V systému nebo dokonce i mimo něj je obvykle nutné zaznamenávat čas procesních dat přesně a mít přesnou časovou synchronizaci všech zařízení. U zařízení SIPROTEC 5 lze nakonfigurovat zdroje času a možnosti synchronizace.

Konfigurovatelné možnosti synchronizace:

- Žádné (defaultní nastavení) - Zařízení funguje bez externí synchronizace času. Interní synchronizace času pokračuje pomocí záložní baterie i při dočasném vypnutí pomocného napětí. Čas lze nastavit ručně.
- Telegram - Čas je synchronizován pomocí telegramu s příslušně nakonfigurovaným komunikačním rozhraním podle protokolu IEC 60870-5-103 nebo DNP3.
- Připojení k rádiovým hodinám - Synchronizace času probíhá s nastaveným časovým telegramem z externího přijímače IRIG-B nebo DCF77 prostřednictvím rozhraní synchronizace času zařízení.
- Ethernet - Synchronizace času se provádí pomocí protokolu SNTP založeného na Ethernetu (Simple Network Time Protocol), například u stanic IEC 61850 nebo

přes IEEE 1588. Pokud během konfigurace rozhraní Ethernet povolíte obě služby, jsou tyto protokoly k dispozici jako možnost pro synchronizace času.

- Ochranné rozhraní - Synchronizace času probíhá prostřednictvím ochranných rozhraní nakonfigurovaných pro vaše zařízení SIPROTEC 5. Zde **Time Master** přebírá správu času.

U zařízení SIPROTEC 5 lze vzít v úvahu 2 časové zdroje. Pro každý zdroj času může být typ synchronizace vybrán na základě poskytnutých možností.

Konfigurovatelné časové zdroje:

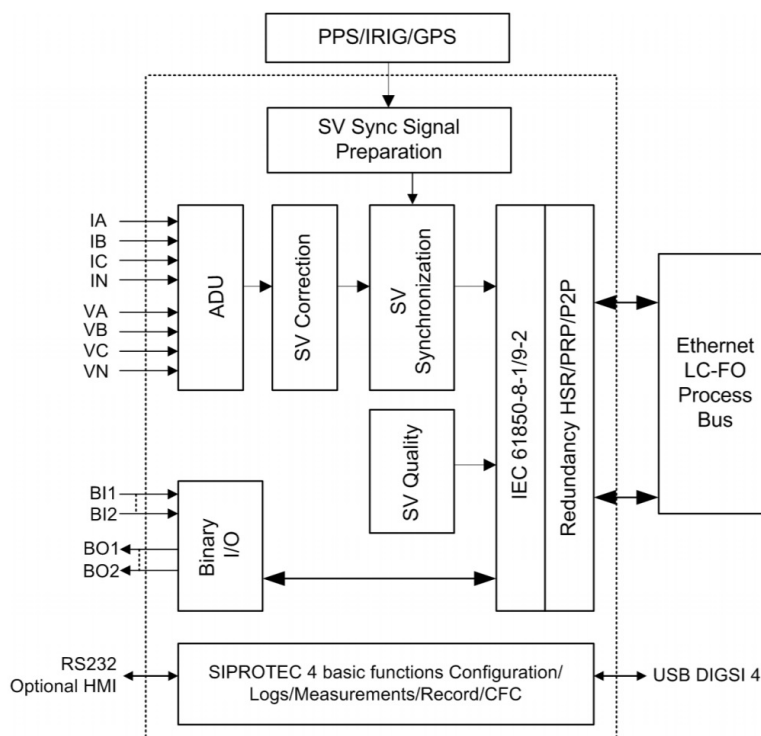
- Zdroj času 1 má přednost před zdrojem času 2, tj. Zdroj času 2 bude účinný pro synchronizaci času zařízení pouze v případě selhání zdroje času 1. Pokud je k dispozici pouze jeden zdroj času a selže, pak převezmou funkci interní hodiny a zůstanou nesynchronizované.
- Pro každý zdroj času je možné pomocí parametru **Time zone time source 1** (nebo Time zone time source 2) definovat, zda tento zdroj vysílá svůj čas UTC (univerzální čas) nebo pokud nastavení odpovídá místnímu časovému pásmu přístroje.

2.2 Merging unit 6MU805

Zařízení slučuje a synchronizuje napětí a proudy do IEC61850-9-2 telegramu podle IEC61869-9 a distribuuje telegramy pomocí dvou optických ethernetových rozhraní [9].

Zařízení podporuje následující hlavní funkce:

- Získávání a slučování multikanálových dat
- Synchronizace samplovaných hodnot
- Přenos samplovaných hodnot



Obrázek 2.3: Plán 6MU805 [9]

2.2.1 Získávání a slučování multikanálových dat

Zařízení MU 6MU805 podporuje digitalizaci vzorkovacích hodnot 4 proudů (1 A / 5 A) a 4 napětí (100 V / 110 V) s 80 vzorky na cyklus pro systémy energetické sítě 50 Hz nebo 60 Hz. Zařízení získává a slučuje vzorkové hodnoty z přístrojových transformátorů. Měření proudu a napětí se sloučí do jednoho zařízení a ze vzorkovacích hodnot se vygeneruje digitální tok, který pak může sloužit jako vstupní signál pro další ochranná relé.

2.2.2 Distribuce samplovaných hodnot

Zařízení MU 6MU805 převádí digitální vzorkové hodnoty na telegramy podle normy IEC 61850-9-2 a současného konceptu IEC61869. Informace přenášené z MU do zařízení ochrany jsou hlavně o navzorkovaných datech proudu a napětí primárního systému a informace o kvalitě. Informace o kvalitě jsou definovány v IEC61869. Na základě těchto údajů může zařízení ochrany sledovat stav primárního systému.

2.2.3 Formát samplovaných hodnot

MU posílá naměřená data (SMV) ve formátu multicast. Adresa musí být v rozsahu 01:0C:CD:04:00:00 až 01:0C:CD:04:FF:FF. Pro naše měření je adresa nastavena jako 01:0C:CD:04:00:02. Tyto informace pak bude možné ověřit při měření v komunikaci za-

chycené programem Wireshark.

2.2.4 Synchronizace samplovaných hodnot

Hlavní funkcí MU je generování hodnot vzorků synchronizovaných externím synchronizačním signálem PPS, GPS nebo IRIG-B. Při digitalizaci hodnot je synchronizace MU velmi důležitá pro ochranu, která potřebuje vzorkové hodnoty z různých MU, například pro aplikace diferenciální ochrany. Pokud v rozvodně běží více než jedno zařízení MU, jsou SV synchronizovány prostřednictvím společného synchronizačního signálu, takže synchronizační signály posílané do různých MU by měly udržovat vysokou přesnost synchronizace. Synchronizační signály musí být kompatibilní s mezinárodní normou IEC61869. Signály synchronizace SV, jako je signál PPS, GPS nebo IRIG-B, jsou před použitím pro synchronizaci kontrolovány a stabilizovány [9].

Synchronizace je aktivní pouze když:

- parametr **0460 PPS Synchro** je konfigurován jako ON
- připojený modul časového synchronizačního signálu (PPS / IRIG-B modul nebo GPS modul)
- je přijímán přesný synchronizační signál času PPS / IRIG-B modul nebo GPS modul

Samplované hodnoty jsou generovány na základě oscilátoru 6MU805 v jednom z následujících případů:

- parametr **0460 PPS Synchro** je konfigurován jako OFF (v časovém synchronizačním rozhraní není přijat žádný synchronizační signál času)
- nebo fyzický signál časové synchronizace nebyl nikdy přijat

Potom distribuované IEC61850-9-2 SV (vzorkované hodnoty) nejsou synchronizovány s časovým synchronizačním signálem a jsou označeny jako nesynchronizované. Přestože SV není synchronizován, je vhodný pro ochranné funkce, které používají SV pouze z jedné MU [9].

Pokud je parametr **0460 PPS Synchro** nastaven na ON, 6MU805 zkontroluje, zda jsou přijaté synchronizační signály času přesné. Po detekci, kontrole a stabilizaci signálů synchronizace času 6MU805 vysílá SV, které jsou označeny jako synchronizované a přesné na mikrosekundy [9].

6MU805 rozlišuje automaticky PPS nebo IRIG-B signál přicházející do modulu PPS/IRIG-B a podporuje specifické synchronizační značky globálního a místního času [9].

2.2.5 IRIG-B

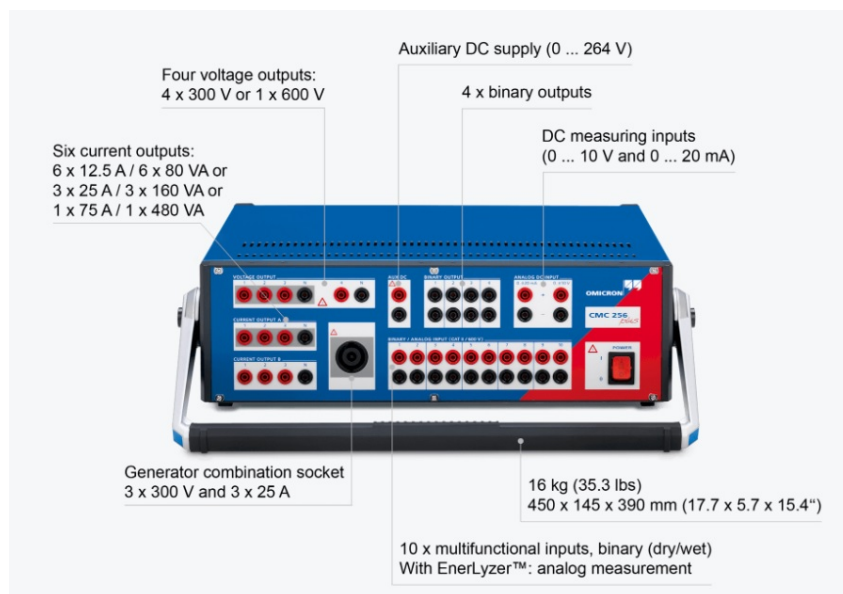
V našem případě externí přijímač IRIG-B připojený k portu G provádí synchronizaci času. Tento zdroj času je vždy k dispozici pro výběr nezávisle na konfiguraci zařízení a komunikace. Zařízení SIPROTEC 5 podporují několik variant protokolu standardů IRIG-B:

- IRIG-B 002 (003) Bity řídicí funkce signálu nejsou obsazeny. Chybějící rok je vytvořen z aktuálního času zařízení. V tomto případě je možné nastavit rok prostřednictvím online přístupu v DIGSI 5.
- IRIG-B 006 (007) Bity pro kalendářní rok se nerovnájí 00. Kalendářní rok se nastává automaticky časovým protokolem.
- IRIG-B 005 (004) s rozšířením podle IEEE C37.118-2005 Je-li v časovém signálu obsazeny kromě kalendářního roku další bity řídicí funkce, pak zařízení SIPROTEC 5 vezme v úvahu další informace pro přechodné sekundy , letní čas, ofset času (zóna, letní čas) a přesnost času.

2.3 Omicron CMC256 Plus

Omicron bude pro nás zdrojem signálu, který simuluje námi chráněnou soustavu.

Analogové zkušební signály jsou generovány digitálně pomocí technologie DSP. To v kombinaci s použitím dalších algoritmů pro korekci chyb a konstrukcí zesilovače orientovaného na přesnost vede k vysoce přesným testovacím signálům i při malých amplitudách. Šest proudových a čtyř napěťových výstupních kanálů je plynule a nezávisle nastavitelné v amplitudě, fázi a frekvenci. Všechny výstupy jsou odolné proti přetížení a zkratu a jsou chráněny před externími vysokonapěťovými přechodovými signály a přehřátím. Integrované síťové rozhraní podporuje komplexní testování v prostředích IEC 61850 pomocí volitelné simulace GOOSE a simulační funkce Sampled Values. Na zadní straně testovací sady je k dispozici až 12 nezávislých kanálů s nízkoúrovňovými signály, které lze použít k testování relé s nízkoúrovňovým vstupním zařízením nebo k ovládání externích zesilovacích jednotek. Použitím EnerLyzer pracuje deset binárních vstupů CMC 256plus alternativně jako analogové měřicí vstupy. Jednotku lze poté použít také jako multifunkční multimetr a přechodový záznamník. Kromě provozu s výkonným softwarem Test Universe běžícím na PC lze CMC 256plus také ručně ovládat pomocí vysoce flexibilní jednotky CMControl a aplikace CMControl běžící na Android Tablet nebo Windows PC.[7]



Obrázek 2.4: OMICRON CMC256 Plus [7]

Zařízení využívá k nastavení software **Test Universe** (aktuálně verze 4.10). Nejprve se musí založit nový testovací dokument. Pro úspěšné spuštění testu je potřeba nastavit **Test object** a **Test module**.

- **Test object** - Jedná se o digitální reprezentaci testovaného objektu. Zde se vyplňují parametry testovaného relé, nebo jakéhokoliv jiného zařízení.
- **Test module** - Zde nastavuji funkčnost jakou testuji a průběh testu. Software nabízí mnoho šablon. V našem případě se jedná o Overcurrent protection a Distance protection. Systém má přednastavené parametry, které je možné pouze upravit. Ale je možnost vytvoření celého testu naprosto od nuly. Pro manuální ovládání testu je možné využít funkčnost QuickCMC.

Pro naše potřeby využijeme právě manuálního ovládání - QuickCMC. Umožní nám nastavení všech požadovaných parametrů posílaného signálu - napětí, proud, fázový úhel. A umožňuje i sledování a zaznamenání reakční doby testovaného zařízení pomocí binárního vstupu.

3 Konfigurace ochranných funkcí

Ochranné funkce se po vybrání ochranné skupiny (v našem případě - function group Line) přidají pomocí knihovny v DIGSI 5. Ochranné funkce jsou tříděny podle ANSI.

3.1 Distanční ochrana

Přehled funkcí:

Distanční ochrana pro SIPROTEC 5 7SA87 je dostupná ve třech variantách:

- Distanční ochrana uzemněných systémů s 3-fázovým vypínáním
- Distanční ochrana pro izolované / rezonančně uzemněné systémy s 3-fázovým vypínáním
- Distanční ochrana uzemněných systémů s 1- / 3-pólovým vypínáním

My vybereme distanční ochranu pro uzeměné systémy.

3.1.1 Distanční ochrana pro uzeměné systémy

Přehled funkcí pro uzeměné systémy (ANSI 21 N):

- Je formou selektivní ochrany před zkratem pro vedení a kabely s napájením z jednoho nebo více konců v radiálních, smyčkových nebo síťových systémech
- Používá se jako záložní ochrana pro přípojnice, transformátory a jiná vedení
- Pracuje pouze v systémech s uzemněným nulovým bodem
- Vypíná 1 nebo 3 fázové systémy
- Lze použít při jakékoliv úrovni napětí

3.1.2 Struktura funkce

Funkci Distanční ochrany uzemněných systémů lze umístit do funkčních skupin, které poskytují naměřené hodnoty napětí a proudu a také parametry vedení. Funkce distanční ochrany uzemněných systémů se skládá z následujících bloků[5]:

- General (Obecné)
- Pickup method (Výběrová metoda)

- Distance zones (Distanční zóny)
- 1-pole/3-pole output logic (1/3 fázová výstupní logika)

Funkce distanční ochrana uzemněných systémů je předkonfigurována se čtyřmi zónami. Zóny jsou strukturovány identicky. Ve funkci distanční ochrany uzemněných systémů je maximální počet zón, které mohou být provozovány současně, následující[5]:

- 16 zón s kvadrilaterální charakteristickou křivkou
- 1 zóna s čtyřúhelníkovou charakteristickou křivkou a adaptivním výběrem
- 16 zón s charakteristickou křivkou MHO
- 16 zón s kruhovou charakteristickou křivkou

3.1.3 Provozní režim

Ground-fault detection určuje, zda došlo k zemi poruše. *Pickup method* (výběrová metoda) uvolňuje měřicí smyčky. Pro uvolněné smyčky se vypočítá impedance. Vypočítaná impedance je přiřazena provozním křivkám (čtyřúhelník, MHO nebo kruhová charakteristika) zón. V *Impedance pickup method* se analyzuje výřez zátěže, poté dojde k přiřazení vypočtené impedance k provozním křivkám. Směr k umístění zkratu je pak určen pro všechny vybrané smyčky. *Loop selection* (Výběr smyčky) určuje vybrané smyčky, pro které se zpracovávají klasifikace do definovaných zón. *Loop elimination* (Eliminace smyčky) odstraní všechny smyčky, které nejsou vybrány po určení směru a zjištění výřezu zatížení. U vybraných smyček se spustí časové zpoždění v logice zóny. Logika zóny vytváří signály výběru a vypnutí smyček a fází pro zónu. Výstupní logika zpracovává vybrané signály a signály vypnutí zón a vytvoří signály vypnutí distanční ochrany. V zóně s kvadrilaterální charakteristickou křivkou a adaptivním zachycením se výřez zatížení nastaví přímo v zóně a vyhodnotí se pro všechny zóny[5].

3.1.4 Nastavení distanční ochrany

Následující parametry lze nastavit v části **General** ve funkci **Distance protection for grounded systems**. Nastavené hodnoty jsou platné pro všechny zóny distanční ochrany [5].

Parametr: Zone timer start

Parametr **Zone timer start** se používá k určení času, ve kterém začíná časové zpoždění zón[5].

- **On dist. pickup** - Pokud časová zpoždění všech zón začíná současně, vyberte toto nastavení. Pokud se změní typ poruchy nebo výběr měřící smyčky, všechny časovače poběží dál.
- **On zone pickup** - Časové zpoždění zóny začíná spuštěním zóny. Pokud potřebujete tuto funkci koordinovat s dalšími ochrannými funkcemi (distanční nebo nadproudové), vyberte toto nastavení.

Parametr: Dist. characteristic angle

Dist. characteristic angle parameter umožňuje nastavit úhel sklonu charakteristické křivky distanční ochrany. Zde nastavený úhel sklonu pro charakteristickou křivku distanční ochrany platí pro všechny zóny ve funkci [5].

Příklad:

Výpočet z údajů impedance vedení, které má být chráněno:

$$Z_A = R_A + j * X_A = (0.025 + j * 0.21)\Omega \quad (3.1)$$

Charakteritický úhel:

$$\varphi = \arctang \frac{X_A}{R_A} = 83.2^\circ \quad (3.2)$$

Parametr: Ground-fault detection

Parametr detekce zemní poruchy určuje kritéria použitá pro detekci zemní poruchy[5].

- **3I0 or V0** - Pokud kritérium netočivé složky proudu ($3I0>$) nebo kritérium napětí netočivé složky ($V0>$) vede k detekci zemního spojení, vyberte toto nastavení. U uzemněných systémů je OR operace podle kritérií $3I0>$ a $V0>$ spolehlivým kritériem pro detekci zemní poruchy. Tato kritéria se vzájemně doplňují. Společnost Siemens doporučuje toto nastavení pro uzemněné systémy.
- **3I0 and V0** - Pokud si přejete použít obě kritéria pro detekci zemního spojení (logické AND propojení obou funkcí).
- **3I0 only** - Pokud má být pro detekci zemních poruch použito pouze kritérium proudu netočivé složky.

Parametr: 3I0> threshold value

Parametr prahové hodnoty $3I0>$ se používá k definování proudového limitu netočivé složky pro detekci zemního spojení. Parametr prahové hodnoty $3I0>$ musí být nastaven na

hodnotu menší než nejnižší očekávaný zemní proud při zemních poruchách na chráněném napájecí. Aby se distanční ochrana spouštěla pro externí vzdálené chyby jako ochrana zálohování, nastavte parametr prahové hodnoty $3I0>$ na citlivější hodnotu, než je nezbytná pro interní poruchy. Společnost Siemens doporučuje ponechat výchozí nastavení 0,10 A [5].

Parametr: $V0>$ threshold value

Parametr prahové hodnoty $V0>$ se používá k definování limitu napětí netočivé složky pro detekci zemního spojení. U zemních poruch v uzemněném systému existuje napětí netočivé složky. Toto napětí klesá se zvyšující se vzdáleností mezi místem poruchy a měřícím bodem. Společnost Siemens doporučuje ponechat výchozí nastavení 1,66 V. Pokud nevyváženost systému může způsobit během provozu vyšší napětí netočivé složky, zvýšte výchozí nastavení [5].

Parametr $3I0$ pickup stabilization

Parametr $3I0$ pickup stabilization se používá k nastavení sklonu charakteristické křivky $3I0>$ pro detekci zemních poruch. Nerovnováha v energetickém systému a chyby transformátoru proudu mohou v případě vyšších fázových proudů způsobit proud netočivé složky v ochranném zařízení, i když nedochází k zemnímu spojení. Parametr $3I0$ pickup stabilization se používá k zabránění aktivace zemní ochrany. Pokud se neočekává žádná extrémní nevyváženost výkonového systému a neobvykle velké chyby transformátoru proudu, společnost Siemens doporučuje ponechat výchozí hodnotu 0,10 [5].

Parametr: Loop select. with ph-ph-g

Parametr Loop select. with ph-ph-g se používá k určení, které smyčky budou analyzovány distanční ochranou v případě dvojitých zemních poruch. Můžete omezit analýzu na určité smyčky [5].

Následující tabulka ukazuje, které smyčky jsou analyzovány pro různá nastavení parametru Loop select. with ph-ph-g [5]:

<i>Hodnota parametru</i>	<i>Spuštěné smyčky</i>	<i>Vyhodnocené smyčky</i>
<i>block leading phase</i>	A-gnd, B-gnd, A-B B-gnd, C-gnd, B-C A-gnd, C-gnd, C-A	B-gnd, A-B C-gnd, B-C A-gnd, C-A
<i>block lagging phase</i>	A-gnd, B-gnd, A-B B-gnd, C-gnd, B-C A-gnd, C-gnd, C-A	A-gnd, A-B B-gnd, B-C C-gnd, C-A
<i>all</i>	A-gnd, B-gnd, A-B B-gnd, C-gnd, B-C A-gnd, C-gnd, C-A	A-gnd, B-gnd, A-B B-gnd, C-gnd, B-C A-gnd, C-gnd, C-A
<i>ph-ph only</i>	A-gnd, B-gnd, A-B B-gnd, C-gnd, B-C A-gnd, C-gnd, C-A	A-B B-C C-A
<i>ph-gnd only</i>	A-gnd, B-gnd, A-B B-gnd, C-gnd, B-C A-gnd, C-gnd, C-A	A-gnd, B-gnd B-gnd, C-gnd A-gnd, C-gnd

Obrázek 3.1: Tavulka výběru vyhodnocovaných smyček dle nastavení parametru Loop select. with ph-ph-g [5]

3.2 Nadproudová ochrana

Detekuje zkrat v elektrických zařízeních. Lze ji použít i jako záložní nebo nouzovou nadproudovou ochranu k ochraně hlavní [5].

3.2.1 Struktura funkce

Ve skupině ochranných funkcí se používá ochrana fází proti nadproudu. Pro třífázovou nadproudovou ochranu jsou k dispozici 2 druhy funkcí [5]:

- Overcurrent protection, phases – advanced (50/51 OC-3ph-A)
- Overcurrent protection, phases – basic (50/51 OC-3ph-B)

Oba typy funkcí jsou výrobcem předkonfigurovány na 2 stupně nadproudové ochrany časově nezávislé a 1 stupeň nadproudové ochrany s inverzní křivkou [5].

U typu funkce Overcurrent protection, phases – basic, lze současně provozovat následující stupně [5]:

- Maximálně čtyři stupně **Definite-time overcurrent protection – basic**
- Jeden stupeň **Inverse-time overcurrent protection – basic**

3.2.2 Nastavení nadproudové ochrany - Časově nezávislá křivka

Parametr: Emergency mode

Defaultní nastavení **Emergency mode** = **no**. Pro tento parametr lze nastavit následující hodnoty [5]:

- **no** - Nadproudová ochrana nefunguje v nouzovém režimu. Je vždy aktivní souběžně s hlavní ochranou.
- **caused by main prot.** - Nadproudová ochrana pracuje v nouzovém režimu. Pokud hlavní ochrana již nemůže fungovat, nadproudová ochrana se automaticky spustí. Situace, v nichž hlavní ochrana již nemůže fungovat, jsou:
 - Hlavní ochrana, distanční ochrana: Porucha měřicího napětí
 - Hlavní ochrana, diferenciální ochrana vedení: Chyba přenosu dat ochrany
- **caused by binary input** - Nadproudová ochrana pracuje v nouzovém režimu. Aktivace se neprovádí automaticky interní hlavní ochranou, ale prostřednictvím binárního vstupního signálu, například externí hlavní ochranou.

Parametr: Method of measurement

Defaultní nastavení **Method of measurement** = **fundamental comp.** Pomocí parametru **Method of measurement** určíte, zda fáze používá **fundamental comp.** (standardní metoda) nebo vypočtenou **RMS** hodnotu [5].

- **fundamental comp.** - Tuto metodu měření vyberte, pokud mají být potlačeny harmonické nebo přechodové špičkové hodnoty. Společnost Siemens doporučuje použít tuto metodu jako standardní metodu.
- **RMS value** - Tuto metodu měření vyberte, pokud chcete, aby fáze brala v úvahu harmonické složky.

Parametr: Threshold, Operate delay

Defaultní nastavení **Threshold** = **1.500 A** a **Operate delay** = **0.30 s** pro první stupeň [5].

První stupeň:

Nastavení závisí na maximálním vznikajícím provozním proudu. Snímač přetížení musí být vyloučen, protože nadproudová ochrana pracuje s krátkými vypínacími časy jako ochrana proti zkratu a nikoli jako ochrana proti přetížení. Proto nastavte parametr **Threshold** pro vedení na cca. 10%, pro transformátory a motory do cca. 20% nad maximální očekávané zatížení [5].

Příklad: vedení 110 kV, průřez 150 mm²

Maximální přenosný výkon, Maximální proud:

$$P_{MAX} = 120MVA, I_{MAX} = 630A \quad (3.3)$$

Proudový transformátor:

$$\frac{I_P}{I_S} = \frac{600A}{5A} \quad (3.4)$$

Bezpečnostní faktor = 1.1, pak threshold prvního stupně (sekundární hodnota):

$$T_1 = 1.1 * \frac{630A}{600A} * 5A = 5.8A \quad (3.5)$$

Nastavené zpoždění provozu je odvozeno od harmonogramu časování, který byl připraven pro systém. Pokud se nadproudová ochrana používá v nouzovém režimu, mohou být přiměřená kratší časová zpoždění, protože nouzový režim funguje pouze v případě selhání hlavní ochranné funkce [5].

Druhý stupeň:

Nastavte parametr **Threshold**, abyste zajistili, že nespustí v případě zkratu na konci vedení. Nastavte parametr **Operate delay** na 0 nebo na nízkou hodnotu [5].

Příklad: 110 kV nadzemní vedení, průřez 150 mm²

- s (délka) = 60 km
- $Z_L/s = 0.46 \Omega/km$

Poměr netočivé impedance a sousledné impedance: $Z_{L0} / Z_{L1} = 4$

Zkratový výkon na začátku vedení:

- $S_{sc}' = 2.5$ GVA

Poměr netočivé impedance a sousledné impedance na začátku vedení: $Z_{P0} / Z_{P1} = 2$

- Proudový transformátor = 600 A/5 A

Výsledkem jsou následující hodnoty impedance vedení Z_L a impedance zdroje Z_P :

$$Z_L = 0.46 * \frac{\Omega}{km} * 60km = 27.6\Omega \quad (3.6)$$

$$Z_P = \frac{120kV^2}{2500MVA} = 4.84\Omega \quad (3.7)$$

Třífázový zkratový proud na konci vedení je I_{scEnd} :

$$I_{scEnd} = \frac{1.1 * V_r}{\sqrt{3} * [Z_P + Z_L]} = \frac{1.1 * 110kV}{\sqrt{3}[4.84\Omega + 27.6\Omega]} = 2150A \quad (3.8)$$

Výsledným nastavením v primárních a sekundárních hodnotách jsou následující hodnoty zahrnující bezpečnostní rezervu 10%:

- Prahová hodnota druhého stupně (primární) = $1.1 * 2150A = 2365A$

- Prahová hodnota druhého stupně (sekundární) = $1.1 \cdot 2150\text{A} / 600\text{A} \cdot 5\text{A} = 19.7\text{A}$

V případě zkratových proudů přesahujících 2365 A (primární) nebo 19.7 A (sekundární) je na chráněném vedení zkrat. Ochrana proti nadproudu může tento zkrat okamžitě přerušit [5].

Parametr: Pickup delay

Defaultní nastavení **Pickup delay** = 0.00 s.

Pro některé aplikace je potřeba aby malé překročení limitu nevedlo ke spuštění stupně. Pokud je tento stupeň použit jako funkce tepelného přetížení, považuje se to za speciální aplikaci. Při použití parametru **Pickup delay** je definován časový interval, během kterého se vyzvednutí nespustí, pokud je překročen aktuální práh. Pro všechny aplikace na ochranu před zkratem je tato hodnota standardně 0,00 s [5].

Parametr: Dropout delay

Defaultní nastavení **Dropout delay** = 0.00 s.

Společnost Siemens doporučuje použít výchozí nastavení 0, aby ochrana působila co nejrychleji. Parametrem **Dropout delay** $\neq 0$ můžete získat jednotné chování při výpadku, pokud jej použijete společně s elektromechanickým relé [5].

Parametr: Dropout ratio

Defaultní nastavení **Dropout ratio** = 0.95.

Parametr: 1-pole operate allowed

Defaultní nastavení **1-pole operate allowed** = **no**. Tento parametr nastavuje na kolika fázích zařízení operuje. Nastavení **no** definuje operace třífázové, zatímco nastavení **yes** způsobí fázově selektivní chování. Vypínání zařízením je však vždy 3-fázové, protože zařízení nepodporuje fázově selektivní vypínání [5].

3.2.3 Nastavení nadproudové ochrany - Inverzní křivka

Tyto parametry rozšiřují nastavení inverzní křivky oproti nastavení časově nezávislé křivky [5].

Parametr: Type of character. curve

Defaultní nastavení **Type of character. curve** = IEC normal inverse.

Zařízení nabízí všechny obvyklé inverzní charakteristiky podle IEC a ANSI [5].

Parametr: Min. time of the curve

Defaultní nastavení **Min. time of the curve** = 0.00 s.

Parametrem **Min. time of the curve** definujete minimální dobu zpoždění provozu. Doba zpoždění charakteristické inverzní křivky nikdy neklesne pod minimální dobu zpoždění provozu. Pokud je nastavení ponecháno na výchozí hodnotě 0 s, nemá tento parametr žádný účinek. Společnost Siemens doporučuje ponechat výchozí nastavení 0 s [5].

Parametr: Additional time delay

Defaultní nastavení **Additional time delay** = 0.00 s.

Parametrem **Additional time delay** definujete časově nezávislé zpoždění k inverznímu časově závislému zpoždění. Pokud je nastavení ponecháno na výchozí hodnotě 0 s, nemá tento parametr žádný účinek. Společnost Siemens doporučuje ponechat výchozí nastavení 0 s [5].

Parametr: Threshold

Defaultní nastavení **Threshold** = 1.500 A .

Nastavení závisí na maximálním vznikajícím provozním proudu. Snímač přetížení musí být vyloučen, protože nadproudová ochrana pracuje s krátkými vypínacími časy jako ochrana proti zkratu a nikoli jako ochrana proti přetížení. Nastavte parametr **Threshold** pro linkové vedení přibližně na 10% pro transformátory (20 % pro motory) nad maximální očekávanou zátěž. Kvůli bezpečnostní rezervě zóna spouští přibližně 10 % nad **Threshold** [5].

Příklad: vedení 110 kV, průřez 150 mm²

Maximální přenosný výkon, Maximální proud:

$$P_{MAX} = 120MVA, I_{MAX} = 630A \quad (3.9)$$

Proudový transformátor:

$$\frac{I_P}{I_S} = \frac{600A}{5A} \quad (3.10)$$

pak primární threshold prvního stupně:

$$T_{1P} = 630A \quad (3.11)$$

a sekundární threshold prvního stupně:

$$T_{1S} = \frac{630A}{600A} * 5A = 5.25A \quad (3.12)$$

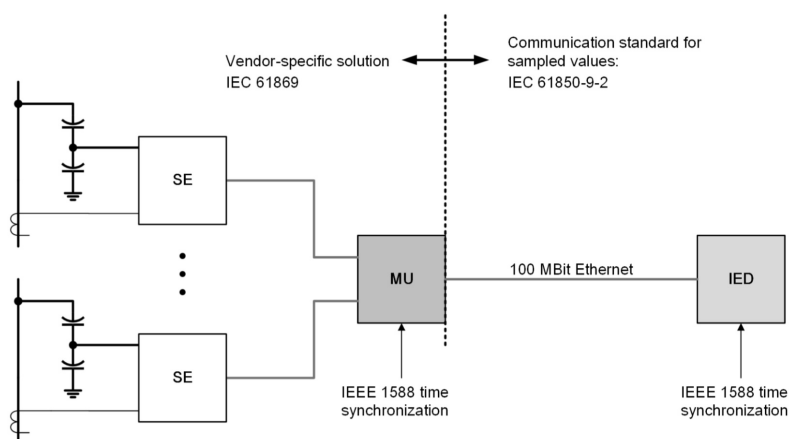
Parametr: Time dial

Defaultní nastavení **Time dial** = **1.00**.

Pomocí parametru **Time dial** posunete charakteristickou křivku ve směru času. Nastavená hodnota parametru **Time dial** je odvozena z harmonogramu časování, který byl připraven pro elektrické systémy. Pokud se nadproudová ochrana používá v nouzovém režimu, mohou být přiměřená kratší časová zpoždění, protože nouzový režim funguje pouze v případě selhání hlavní ochranné funkce [5].

4 Náhrada klasického připojení pomocí MU

MU poskytuje naměřené hodnoty vzorkované jako ethernetové datové packety, jak jsou definovány v normách IEC 61850-9-2 a IEE 61869-9. Aby bylo možné tyto signály použít jako napěťové nebo proudové vstupy v zařízení SIPROTEC 5 7SA87, musí se zařízení přihlásit o signály poskytované MU [8].



Obrázek 4.1: Obecné schéma zapojení s MU [8]

Za tímto účelem poskytují soubory IID (IID - Instantiated IED Description) popis toků dat Merging unit (když je MU nakonfigurována) nebo požadované signály (když je nakonfigurován klient procesní sběrnice). [8]

Soubory IID obsahují následující informace:

- Popis vlastních signálů poskytnutých MU
- Formáty datových paketů zveřejněné MU ve standardizovaném formátu

4.1 Struktura konfiguračních dat souborů MU a konfigurace process bus

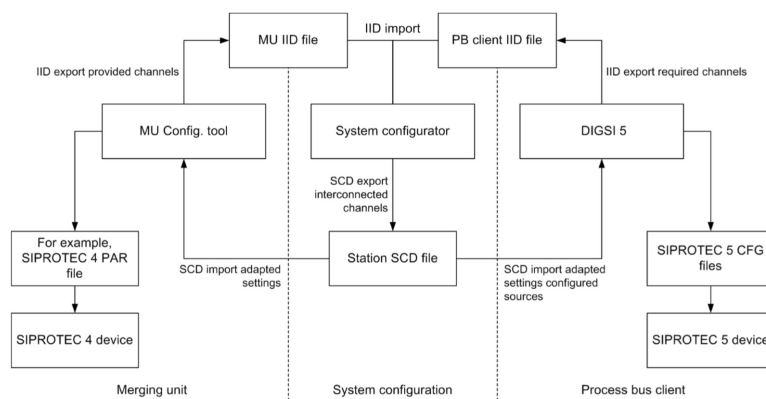
Soubory IID poskytují popis standardních datových paketů navzorkovaných hodnot poskytnutých konkrétní MU podle normy IEC 61850. Tento soubor IID je vyžadován pro každou instanci MU, protože data dodaná MU závisí na nastavení konfigurace, jako

jsou primární jmenovité hodnoty v konkrétní instalaci a další nastavení. Tento soubor IID poskytuje nezávislý popis konkrétní MU nezávislý na výrobci. Tento vlastní popis obsahuje následující hlavní části [8]:

- Ethernetové porty (*access points*) poskytované MU a jejich konfigurační data
- Přiřazení přístupových bodů k odděleným částem sítě (*subnetworks*)
- Popis proudových transformátorů (CT) / napěťových transformátorů (VT) poskytujících signály
- Popis datových paketů dodaných MU

Tyto soubory IID se používají v konfigurátoru systému IEC 61850 za účelem propojení proudových a napěťových signálů poskytnutých MU těm zařízením, která se o tyto signály MU hlásí. To se provádí za účelem nahrazení místních vstupů CT a VT datovými toky přijatými od MU. Tato zařízení jsou dále pojmenována jako klienti procesní sběrnice.[8]

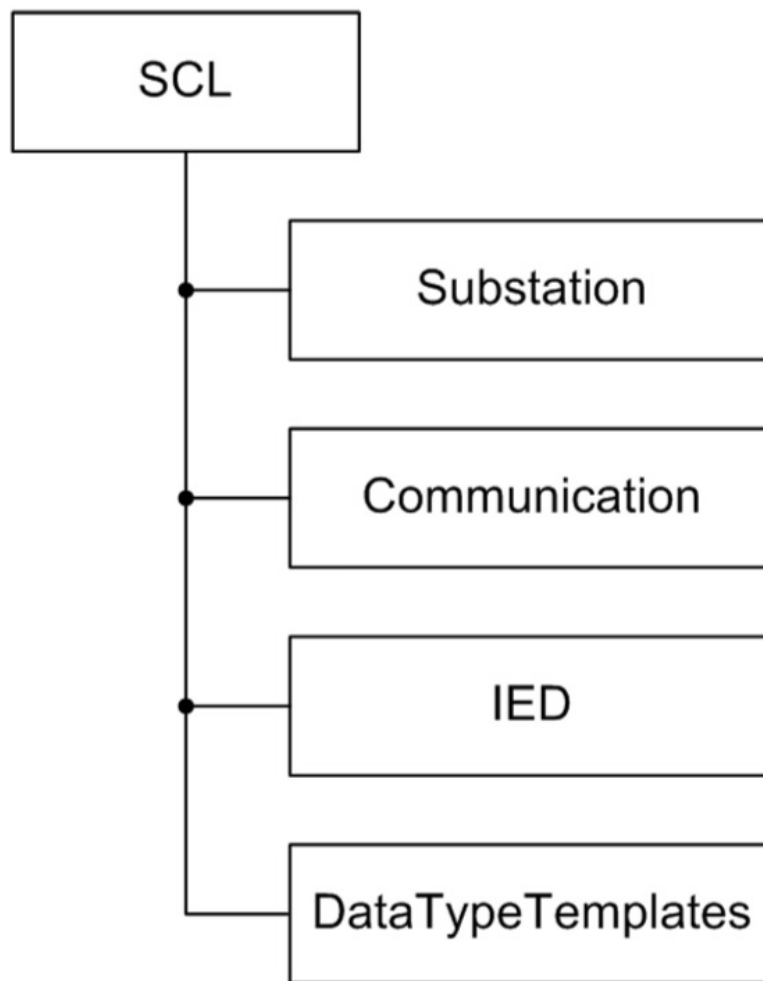
Tito klienti procesní sběrnice také poskytují soubor IID popisující požadované vstupy CT a VT. Pomocí nástroje System Configurator se připojí na potřebné vstupy CT a VT klientů procesní sběrnice (ochrana) k signálům publikovaných MU.[8]



Obrázek 4.2: IEC 61850 pracovní postup [8]

4.1.1 Struktura IID MU

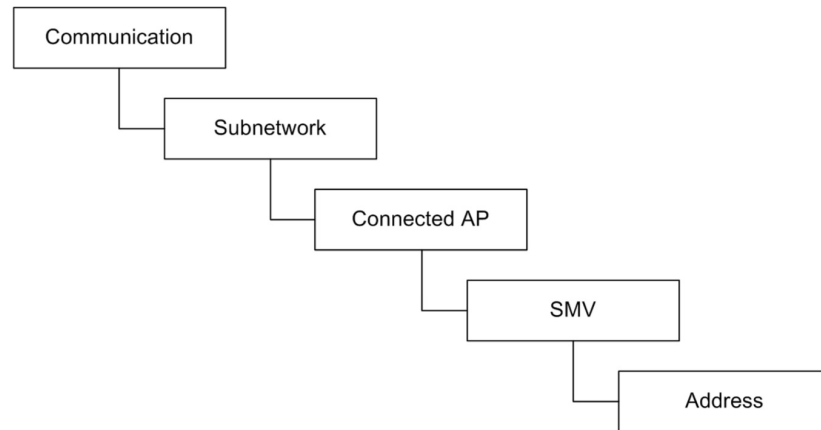
Soubory IID jsou soubory XML s předdefinovanou strukturou. Tato struktura je definována tzv. Schématem XML. Toto schéma XML obsahuje podrobnou definici struktury a umožňuje kontrolu syntaxe, aby se zjistilo, zda soubor IID vyhovuje této definici [8].



Obrázek 4.3: IID struktura [8]

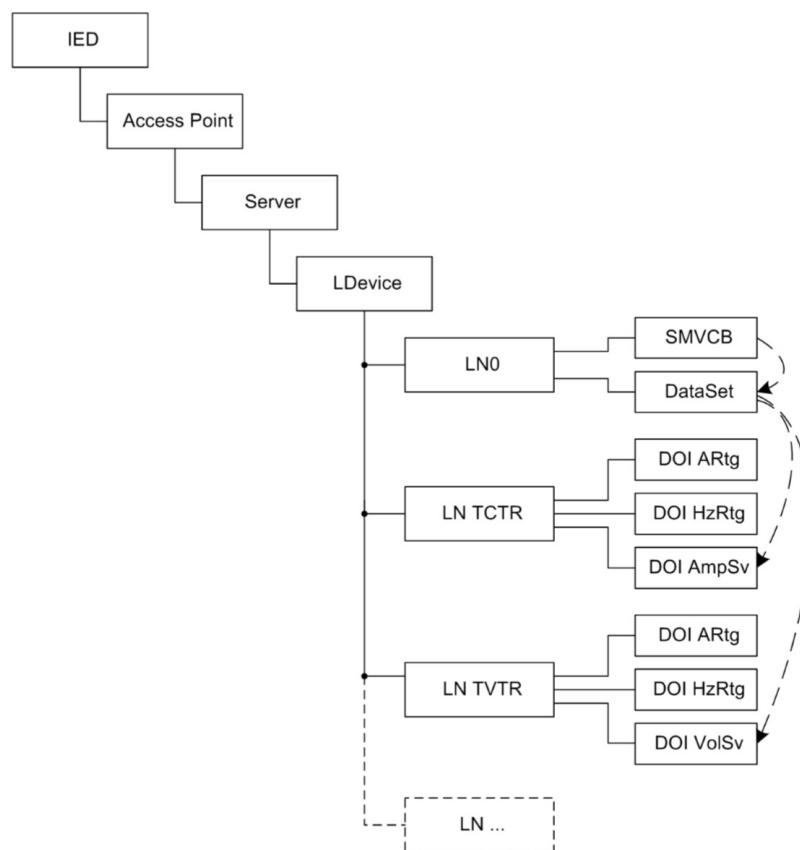
Uzly souborů IID:

- **Substation** uzel obsahuje definice týkající se přiřazení konkrétní MU k zařízení primárního systému, jako je napěťová úroveň, pozice a primární CT nebo VT.
- **Communication** uzel obsahuje přiřazení přístupových bodů poskytovaných MU k topologii komunikační sítě.
 - IP adresy
 - Přiřazení přístupových bodů k podsítím
 - MAC adresy používané MU pro publikování dat vzorkovaných hodnot (Tyto adresy jsou Multicast adresy)



Obrázek 4.4: Struktura komunikačního uzlu [8]

- **IED** uzel obsahuje definici funkcí IED, jako jsou poskytované CT, VT a jejich nastavení. Uzel IED je strukturován v takzvaných logických zařízeních (LD). Tato logická zařízení obsahují logické uzly (LN). Každý CT nebo VT je reprezentován LN. Každé LN má seznam nastavení a výstupů reprezentovaných datovými objekty (DO). Každé logické zařízení obsahuje uzel **LN0** s definicemi platnými pro celé logické zařízení. Uzel LN0 obsahuje definici každého toku SMV vysílaného merging unit. To zahrnuje celkové definice tohoto toku, jako je vzorkovací frekvence a sestavování signálů CT / VT zahrnutých v tomto proudu [8].



Obrázek 4.5: Struktura IED v IID datovém souboru [8]

Pro každý přístupový bod poskytující toky SMV obsahuje uzel IED přístupový bod s uzlem serveru jako podřízeným uzlem (1 přístupový bod na ethernetový port)[8].

Uzel serveru obsahuje alespoň 1 uzel LDevice[8].

Uzel LDevice poskytuje datový tok SMV. Tento uzel obsahuje 1 uzel SMVCB (Sampled Measures Control Block) na jeden poskytovaný datový tok SMV. Uzel SMVCB obsahuje odkaz na DataSet. DataSet definuje signály CT / VT obsažené v datovém toku[8].

Každá položka DataSet obsahuje odkaz na datový objekt SMV zahrnutý v LN TCTR nebo LN TVTR[8].

- ***DataTypeTemplates*** uzel obsahuje hierarchickou definici následujících typů:
 - Typy LN
 - Typy DO (typy datových objektů) používané v konkrétním LN

- Typy DA (typy datových atributů) používané jako datové struktury v konkrétním typu DO

4.1.2 Process-Bus Client in SCD Files

Tato kapitola popisuje integraci klientské desky process-bus SIPROTEC 5 s pomocí následujících programů:

- DIGSI 5
- IEC 61850 System Configurator
- ProConf

Musíme rozlišovat mezi exportem z DIGSI 5 do IEC 61850 System Configurator a importem z IEC 61850 System Configurator do DIGSI 5. Export z DIGSI 5 do IEC 61850 System Configurator poskytuje požadované kanály CT / VT konkrétním klientským přístrojem (PB201). Tyto kanály musíte propojit v IEC 61850 System Configurator. Import z IEC 61850 System Configurator do DIGSI 5 zajišťuje propojení mezi MU a klienty procesní sběrnice pro celou rozvodnu. DIGSI 5 musí extrahovat mapování z aktuálního projektu zařízení.

Export z DIGSI 5

Nejprve se musí přidat Process-Bus module do našeho zařízení (Zařízení ochrany).

Poté se nastaví "Measuring points" v "Measuring points routing matrix", což je výběr signálů poskytovaných process-bus modulem a jejich rozřídění tak, aby naše zařízení rozpoznalo které signály jsou proudové a které napěťové.

Aby bylo možné exportovat IID/CID, musí se povolit alespoň v jednom rozhraní IEC 61850-8-1. Jakmile dokončíme konfiguraci, exportujeme IID soubor.

Exportovaný soubor IID poskytuje požadované vstupy, které mají být propojeny se signály MU pomocí konfiguratoru IEC 61850 System Configurator.

Definition of Client Access Points

Pro umožnění mapování mezi sloty modulů procesní sběrnice používaných v DIGSI 5 a v konfiguratoru systému IEC 61850 je potřebná konvence pojmenování. Názvy přístupových bodů jsou při konfiguraci HW zařízení přiřazeny pouze v DIGSI 5. Tato konvence pojmenování umožňuje přiřadit konkrétní název přístupového bodu v souboru SCD exportovaném programem IEC 61850 System Configurator ke konkrétnímu slotu modulu procesní sběrnice v ProConf a DIGSI 5.

IEC 61850 System Configurator

První mapování se provádí v MU. Signály z primárních CT a VT jsou propojeny s MU. Signály proudu a napětí jsou reprezentovány instancemi TCTR a TVTR v souboru IID popisujícím instanci MU.

Část substation souboru IID popisuje vztah mezi primárním zařízením a instancemi LN, pokud je poskytována IED konfigurátorem MU.

IEC 61850 System Configurator se používá k propojení LN poskytovaných MU a LN v klientovi procesní sběrnice představujících definované měřicí body zařízení SIPROTEC 5. LN jsou poskytovány merging unitou prostřednictvím protokolu SMV IEC 61850-9-2.

Import do DIGSI 5

K umožnění konfigurace procesní sběrnice v DIGSI 5 se používá přechodné řešení s externím nástrojem s názvem ProConf. Nejprve importujeme konfigurační soubor SCD.

Tabulka signálů je vyplněna všemi process-bus kanály poskytovaných MU, které obsahuje importovaný soubor SCD. Zde se nastaví propojení signálů a "Destination Portu".

Pokud importujete soubory IID nebo CID přímo do ProConf, můžete se vyhnout přiřazení kanálů poskytovaných MU a kanálů potřebných v klientském modulu procesní sběrnice. Můžete importovat několik souborů IID nebo CID.

Po dokončení konfigurace exportujeme soubor device.pcf a přes webové rozhraní jej nahrajeme do síťové karty PB201.

4.2 Konfigurační informace

4.2.1 Funkcionalita Merging Unit

Kromě typického zapojení CT, VT, BI a BO musí být zařízení MU 6MU805 připojeno k odebrateli SV (Sample Value), tedy zařízení SIPROTEC5 prostřednictvím připojení optických vláken Ethernet. V našem případě se jedná o síťovou kartu PB201. MU může být připojena přes P2P (point to point), HSR (High Speed Redundacy) nebo PRP (Parallel Redundacy Protocol) [9].

Kromě toho jsou další speciální konfigurace pro IEC61850-9-2 SV telegram, jako je destination MAC address, APPID, VLAN, SV-ID. Existují dva způsoby konfigurace těchto nastavení pomocí volby "Disable"(Zakázat) nebo "Enable"(Povolit) v parametru 0459 Konfigurace SysCon MU. [9].

Pokud je vybrána možnost Enable (Povolit), lze SV telegram IEC61850-9-2 konfigurovat pomocí programu SysCon (systémový konfigurátor IEC61850) prostřednictvím

souboru IEC61850-CID. SysCon podporuje konfiguraci SV telegramu IEC61850-9-2 pomocí speciálního editoru SV. S DIGSI4 lze vygenerovat specifický soubor IEC61850-ICD 6MU805 a na základě souboru IEC61850-ICD může SysCon přidávat adresovací konfigurace a generovat soubor IEC61850-CID, který lze importovat do konfigurace 6MU805 [9].

Toto je doporučená metoda pro konfiguraci SV telegramu IEC61850-9-2 za účelem zajištění jedinečného adresování SV multicast telegramů IEC61850-9-2. Kromě toho SysCon podporuje pohodlné přiřazení kanálů SV zařízením SIPROTEC5 [9].

Pokud je vybrána možnost Disable (Zakázat), lze konfiguraci SV telegramu IEC61850-9-2 provádět se standardními parametry DIGSI4 bez SysCon. Tyto parametry jsou umístěny v nabídce DIGSI4 "Power System Data 1 / SV-settings" označená "Display additional setting" [9].

S parametry 0486 až 0491 lze nakonfigurovat cílovou MAC adresu (destination MAC address), s 0492 Application ID a s 0407 a 0408 lze nakonfigurovat VLAN. Parametr 0452 SVID umožňuje konfiguraci hodnot od 1 do 10. Odpovídající řetězce SV ID v SV telegramu IEC61850-9-2 jsou SIEMENSMU0101 až SIEMENSMU0110. V konfiguraci SysCon může být řetězec SV ID flexibilnější [9].

S DIGSI4 lze vygenerovat specifický soubor IEC61850-ICD 6MU805 s úplnou konfigurací SV telegramu IEC61850-9-2 a použít jej ke konfiguraci odebíratele SV (V našem případě síťová karta PB201) [9].

Po dokončení této konfigurace budou SV telegramy IEC61850-9-2 vysílány MU a připojený konfigurovaný odebíratel SV (PB201) by měl být schopen je přijímat [9].

Synchronizaci SV lze ovlivnit nastavením „MU-settings“ v DIGSI4 menu „Power System Data 1“. S parametrem 0438 "PPS Delay" lze zpoždění signálu synchronizace času ovlivněné přenosovým zařízením a vzdáleností ke generátoru synchronizace času upravit v krocích po 0.1 μ s. Zpoždění 4,7 μ s na 1 km vzniká pro signál PPS nebo IRIGB prostřednictvím optických vláken. S parametrem 0460 "PPS Synchro" lze synchronizaci SV s časovým synchronizačním signálem vypnout, i když je k 6MU805 připojen časový synchronizační signál. Přenos SV nebude ovlivněn stavem signálu synchronizace času a telegramy SV budou označeny jako nesynchronizované. Tuto možnost lze použít, pokud odebíratel SV přijímá telegramy SV pouze od jedné MU [9].

Quality bity SV-telegramu IEC61850-9-2 lze konfigurovat v DIGSI4, když je v menu „Power System Data 1 MU-settings“ povoleno „Display extra setting“. Tyto bity kvality odpovídají standardům IEC61850 a IEC61869 a schopnostem odebíratele SV a schop-

nostem MU. Pokud je nakonfigurováno "Set by MU", tak MU řídí stav quality bitů. U ostatních nastavení budou quality bity nastaveny nezávisle na interním stavu MU [9].

Doporučená konfigurace je "Set by MU", pokud odběratel SV (PB201) podporuje odpovídající quality bity. Pokud je k dispozici pouze „False“, IEC61869 tyto quality bity nepodporuje [9].

Pokud je MU lokálně synchronizována, pak parametr 0485 IEC61850Ed2Sync určuje identifikátor hodin v místní oblasti v SV telegramech IEC61850-9-2 Edition 2. Pokud používáte GPS, není podporováno žádné lokální nastavení [9].

Existuje několik indikací, které podporují uvedení do provozu ke kontrole stavu externího synchronizačního signálu času pro SV synchronizaci. "PPS lost" znamená, že MU nepřijímá externí synchronizační signál času (GPS, IRIG-B a PPS). "PPS global sync." a "PPS local sync." indikuje, zda signál synchronizace času obsahuje globální nebo místní informace. Pokud je připojeno GPS bude podporováno pouze "PPS global sync.". "PPS bad quality" je "True" v případě, že IRIG-B TFOM indikuje nedostatečnou kvalitu (podporováno pouze pro IRIG-B B004 / B005 a IEEE1344) [9].

"SV global sync.", "SV local sync." a "SV not sync." jsou indikace odpovídající informacím v SV telegramu IEC61850-9-2. "SV global sync." a "SV local sync." jsou podporovány v IEC61850-9-2 Edition 2 [9].

4.2.2 PPS/IRIG-B rozhraní

Prostřednictvím zdířky ST můžete připojit aktivní optický signál IRIG-B (B005, B007, IEEE1344) / PPS. Pokud jste zařízení připojili k počítači přes Ethernet, obdržíte informace o stavu týkající se příjmu IRIG-B přes web prohlížeč na adrese vašeho zařízení (V našem případě 10.0.0.110) [9]

4.2.3 Kontrola rozhraní synchronizace času

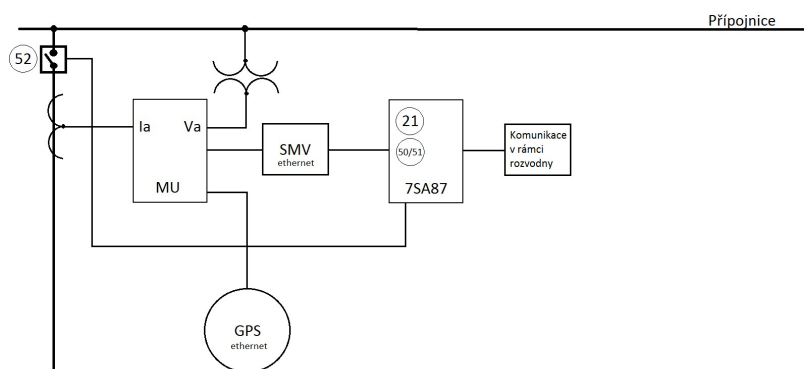
GPS doplňuje čas UTC a modul IRIG-B dodává čas bez časového pásma a přepínání z / na letní čas. Časové pásmo můžete přizpůsobit časovému signálu zadáním offsetového času (v minutách) na zařízení nebo přes DIGSI. Pokud je modul EN100 parametrizován, můžete v DIGSI nastavit letní čas / standardní čas. Správné fungování je indikováno skutečností, že max. 20 minut. po spuštění zařízení nebo výběru GPS jako zdroje času je časový stav označen jako „synchronizovaný“ spolu s provozní indikací „Clock SyncError

(OFF)“. [9]

4.3 Návrh ochrany linkového vedení pomocí process busu

Princip ochrany linkového vedení zůstává stejný. Hlavní ochranná funkce bude distanční ochrana zálohovaná nadprudovou ochranou. Rozdíl bude v získávání měřených hodnot parametrů vedení (napětí a proudů). Dříve byly signály z měřících transformátorů přivedeny přímo do ochrany a zde zpracovány. Nyní budou tyto signály zpracovány MU, která je na pozici mezi měřícími přístrojovými transformátory a ochranou jak lze vidět na obrázku 4.6.

Jednou z výhod práce s MU je možnost přivést signál z několika MU do jedné ochrany. Aby bylo zajištěno synchronizování dat, dostávají data časovou značku pomocí signálu IRIG-B (GPS signál). Tyto zpracované signály (SMV) pak budou poskytovány ochraně v digitální podobě. Pro tyto účely musí mít ochrana nainstalován rozšiřující modul se síťovou kartou PB201.

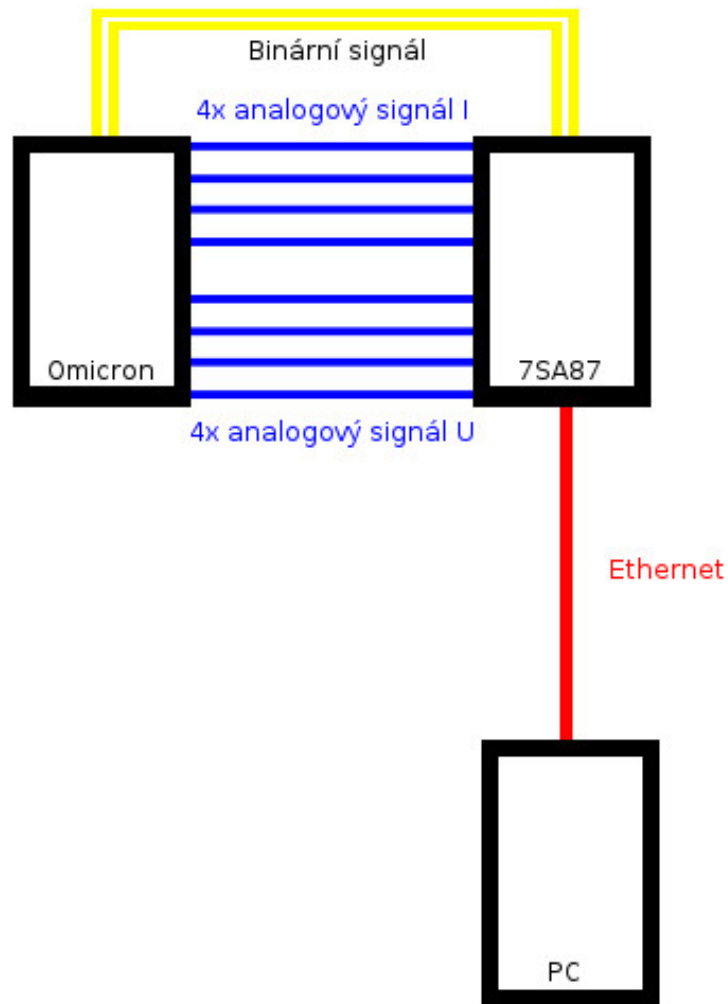


Obrázek 4.6: Jednopolový návrh zapojení ochrany linkového vedení pomocí process busu

Parametry ochranných funkcí budou nastaveny podle parametrů vedení jak bylo popsáno v kapitole **Konfigurace ochranných funkcí**. Stejně tak časová synchronizace a komunikace budou nastaveny podle předchozích kapitol.

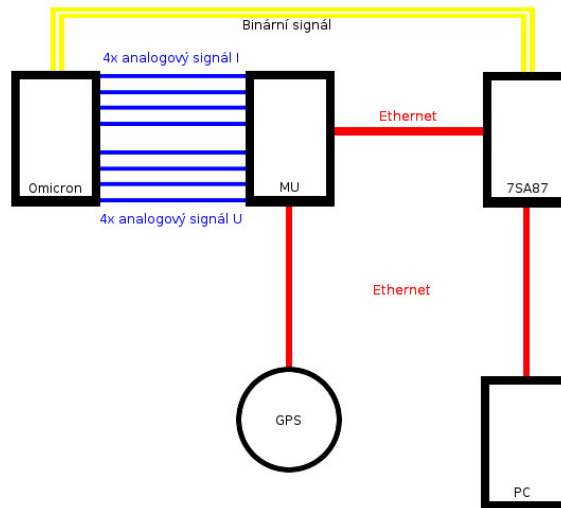
5 Laboratorní měření

Cílem měření je ověřit, že zapojení s MU (tedy i samplované hodnoty) zajistí požadované působení ochranných funkcí v hodnotách dle použité funkce a vyhovujícím čase. Ochranné funkce budou tedy v obou případech parametrizovány na stejné hodnoty. Abychom docílili tohoto výsledku, provedeme několik měření. Nejprve ověříme funkci distanční a nadproudové ochrany bez zapojení MU podle schématu na obrázku 5.1. Jde o přímé propojení Omicronu a ochrany 7SA87 pomocí analogových kabelů.



Obrázek 5.1: Zapojení bez MU

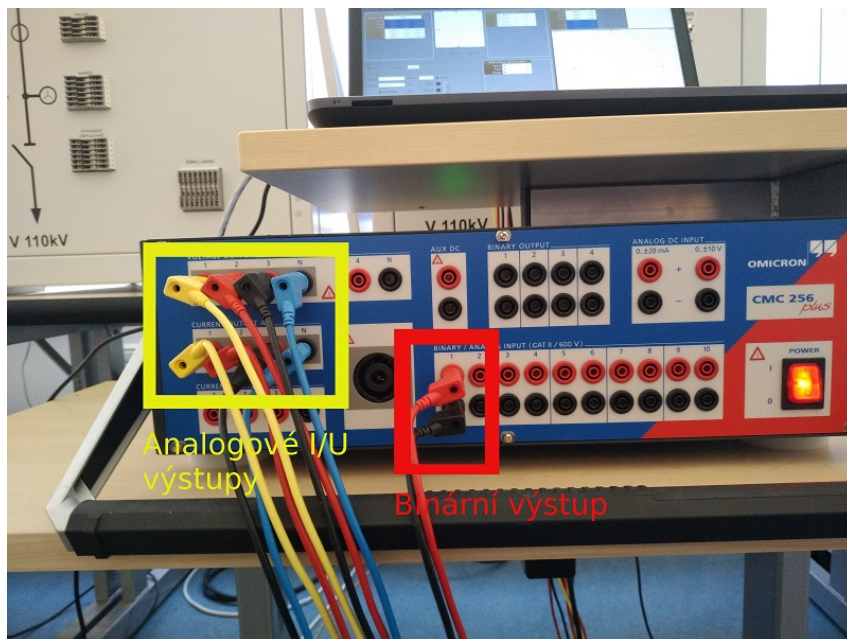
Po získání reakčních hodnot a reakční doby ochranných funkcí bez použití MU přejdeme k zapojení s MU podle schématu na obrázku 5.2. Tentokrát povedeme signál z Omicronu do MU. Toto spojení je opět realizováno analogovými kabely. Další vedení již navzorkovaného signálu zajistí komunikace mezi MU a ochranou přes optický kabel. V tomto místě lze využít některý ze zmiňovaných redundantních protokolů (RSTP, HSR, PRP). K MU bude připojena GPS časová synchronizace pro zajištění časové značky pro samplovaná data.



Obrázek 5.2: Zapojení s MU

5.1 Zapojení Omicronu

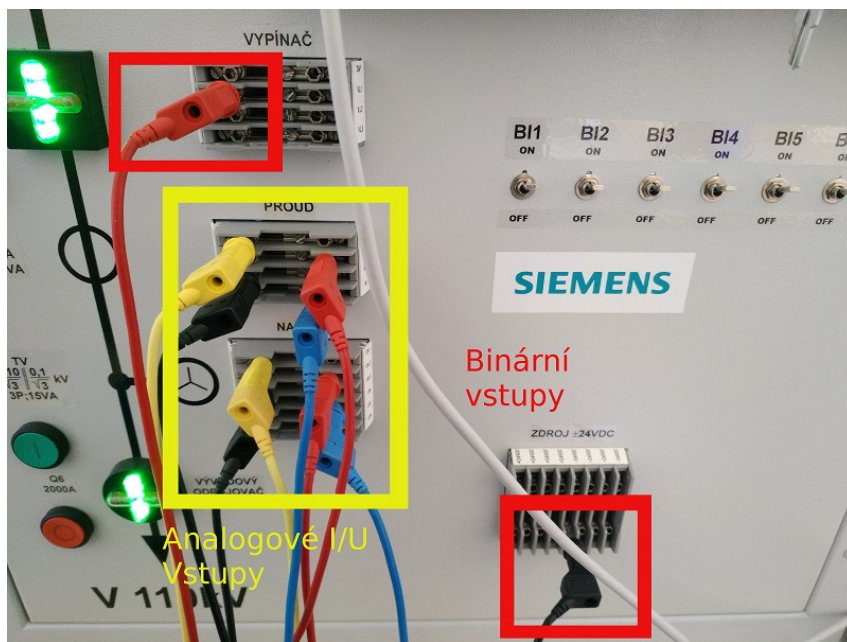
Připojení vodičů k Omicronu bude v obou případech stejné viz. 5.3. V prvním zapojení bez MU bude Omicron posílat signál přímo do ochrany, tudíž bude připojen přímo k ní. Při měření s MU však bude Omicron posílat signály právě MU, která je bude zpracovávat a dále je předá ochraně již navzorkované a v digitální podobě.



Obrázek 5.3: Zapojení Omicronu

5.2 Zapojení ochrany 7SA87 bez MU

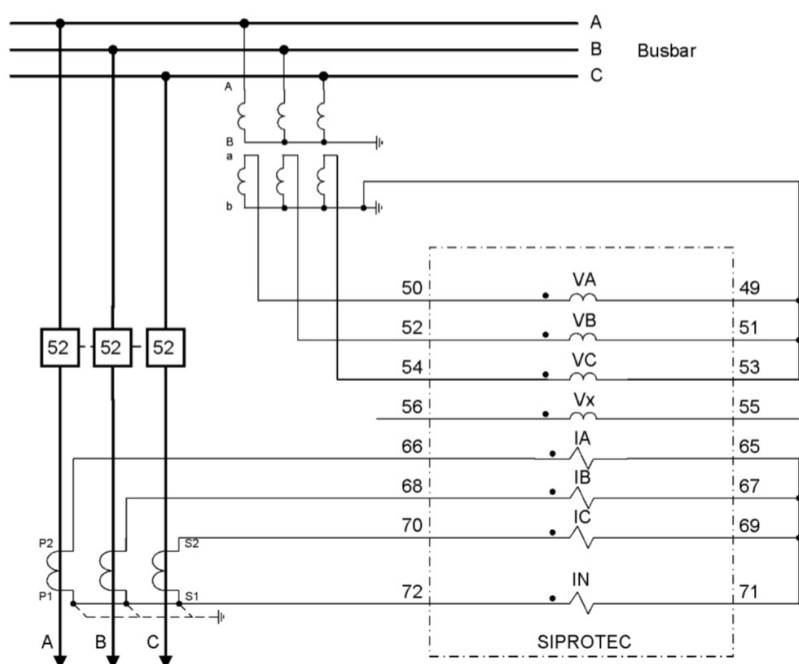
Zapojení ochrany **bez** MU lze vidět na obrázku 5.4, jedná se o analogové propojení obou přístrojů, kde Omicron poskytuje analogové podněty pro ochranu, která je navzorkuje, zpracuje a případně odešle podnět k vypnutí pomocí binárních vstupů.



Obrázek 5.4: Zapojení ochrany

5.3 Zapojení MU

Na obrázku 5.5 lze vidět připojení MU k linkovému vedení. V našem případě bude síť simulovat již zmiňované zařízení Omicron. Analogové výstupy (stejně výstupy jako v případě měření bez MU viz. 5.3) Omicronu budou připojeny k diagnostickým smyčkám MU na výstupy MU zobrazené ve schématu.



Obrázek 5.5: Zapojení MU [9]

Na obrázku 5.6 můžeme vidět přivedené I/U signály z Omicronu do merging unity, jak byly připraveny pro experiment. (Zleva) Proudové vstupy jsou zesponu propojené propojkami, tak aby vytvářely uzel. Uzel byl vytvořen také pro napěťové vstupy pomocí vodičů spojujících všechny tři vstupy a připojující nulový vodič. Dále je na obrázku vidět napájení MU stejnosměrným napětím 48V.



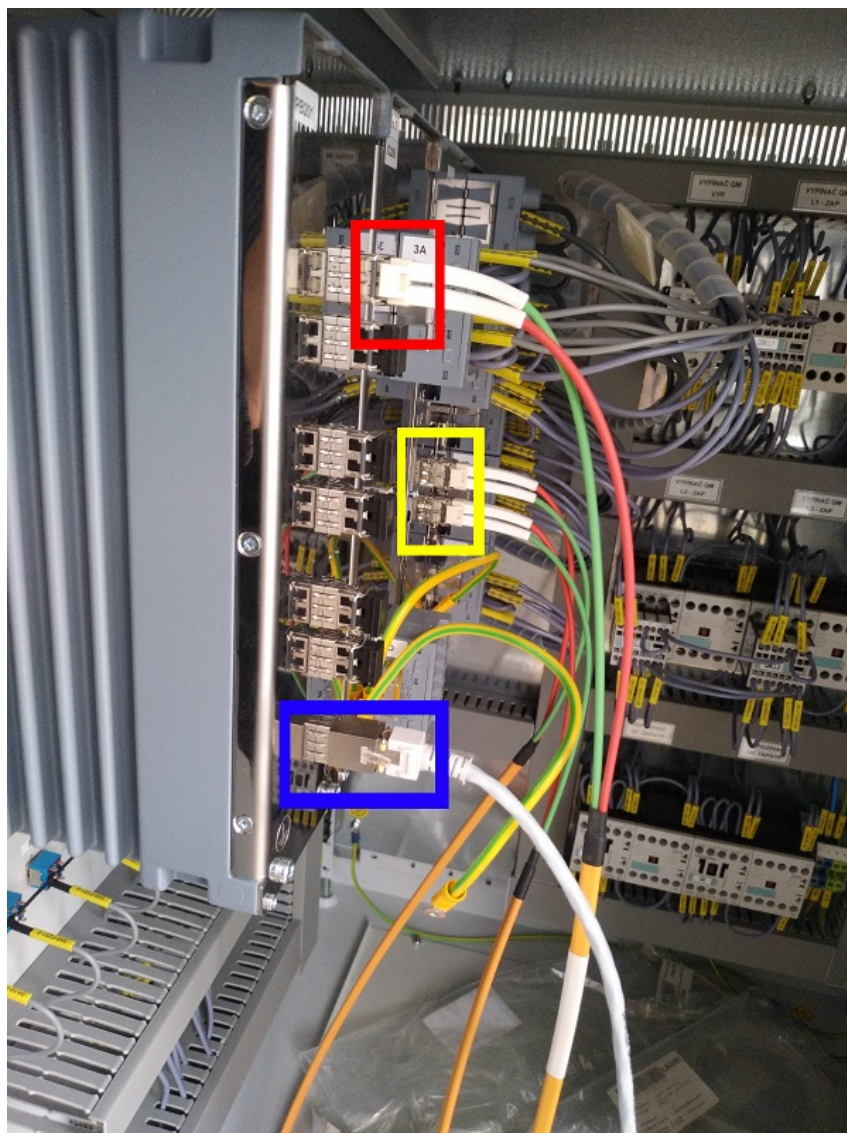
Obrázek 5.6: Zapojení I/U analogových vstupů MU

5.4 Zapojení ochrany 7SA87 s MU

Zapojení s MU lze vidět na obrázku 5.7. Ochrana jednotka bude získávat data od MU pomocí optického ethernetového kabelu. Tento signál bude veden přes switch ke kterému připojíme počítač pro odposlech packetů komunikace mezi MU a ochranou, abychom mohli ověřit správnost konfigurace a prohlédnout si strukturu packetu.

Pro zajištění správné komunikace je nutné k ochraně připojit modul síťové karty PB201, která je rozšířením ochrany 7SA87 od společnosti SIEMENS. Budeme využívat dva výstupy této karty a to port A - kanál 1 pro komunikaci s MU a servisní rozhraní pro propojení s počítačem kvůli konfiguraci.

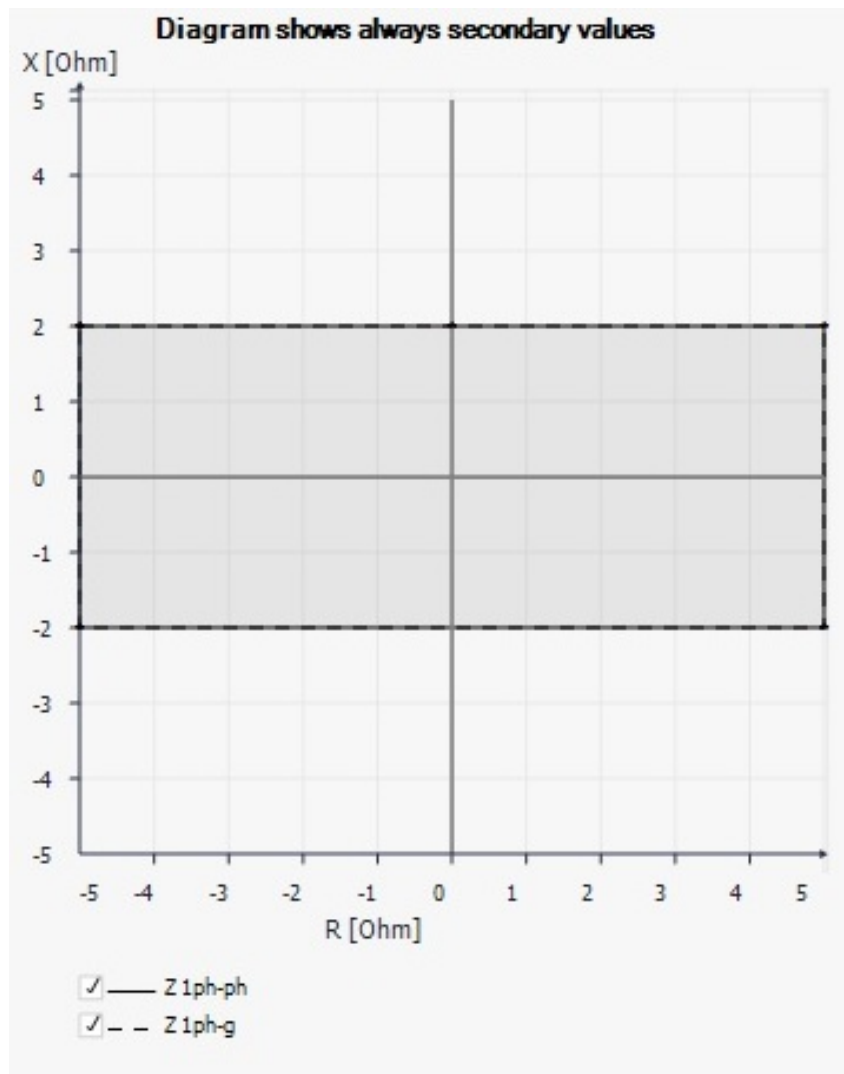
Za modulem síťové karty je vidět vlastní modul ochrany 7SA87 a připojení GPS ke kanálu 1 a propojení s počítačem na kanálu 2 opět optickými ethernetovými kabely. V případě zapojení s MU povedeme GPS signál do MU, abychom zajistili správnou časovou značku pro zpracovaná naměřená data. V našem případě není GPS signál nutností, protože používáme pouze jednu MU. Zařízení je však navrženo tak, aby několik MU mohlo odesílat data jedné ochraně ve stejné síti. V tomto případě již bude časové označení dat nezbytností pro zachování správné funkčnosti systému.



Obrázek 5.7: Připojení MU k síťové kartě PB201 (červený rámeček), Servisní rozhraní síťové karty PB201 (modrý rámeček), připojení GPS a PC k modulu ochrany (žlutý rámeček)

5.5 Měření funkce distanční ochrany

Na obrázku 5.8 můžete vidět charakteristickou křivku určující zónu působení distanční ochrany použité pro náš experiment. Pro jednoduchost použijeme jen jednu zónu ve tvaru obdélníku 10Ω Re x 4Ω Im.



Obrázek 5.8: Obrázek zóny působení distanční ochrany

Konkrétní nastavení parametrů ochrany funkce lze vidět na obrázku 5.9. V části **General** je například vidět nastavení sklonu zóny působení, což je v našem případě 90° . V další části **Z1** pak lze mimo jiné vidět nastavení rozmezí působení ochrany 5Ω v reálné složce impedance a 2Ω pro část imaginární.

General	
21.901.2311.110	Zone timer start: on dist. pickup
21.901.2311.107	Dist. characteristic angle: 90.0 °
21.901.2311.105	Ground-fault detection: 3I0 or V0
21.901.2311.103	3I0> threshold value: 0.100 A
21.901.2311.102	V0> threshold value: 1.660 V
21.901.2311.104	3I0 pickup stabilization: 0.10
21.901.2311.108	Loop select. with ph-ph-g: block leading phase
Z 1	
21.901.3571.1	Mode: on
21.901.3571.2	Operate & fct.rec. blocked: no
21.901.3571.11	1-pole operate allowed: no
21.901.3571.101	Function mode: ph-gnd and ph-ph
21.901.3571.114	Zone-spec. residu. comp.: no
21.901.3571.109	Directional mode: non-directional
21.901.3571.102	X reach: 2.000 Ω
21.901.3571.103	R (ph-g): 5.000 Ω
21.901.3571.104	R (ph-ph): 5.000 Ω
21.901.3571.113	Zone-inclination angle: 0 °
21.901.3571.110	Operate delay (1-phase): 0.00 s
21.901.3571.112	Operate delay (multi-ph.): 0.00 s
Pickup Z<	
21.901.3661.101	Min. phase-current thresh: 0.346 A
21.901.3661.102	Use ph-g load cutout: no
21.901.3661.105	Use ph-ph load cutout: no

Obrázek 5.9: Nastavení ochranné funkce distanční ochrany v DIGSI5

Pro ověření spínací charakteristiky distanční ochrany využijeme funkce Omicronu *QuickCMC* a změříme hraniční body charakteristické křivky ochrany. Pro všechny body nastavíme stejnou konstantní hodnotu proudu $I=2A$. Různé body budu vybírat nastavením fázového úhlu φ . Pro každý bod nejprve nastavím vyšší hodnotu napětí, tak aby výsledná impedance nebyla v zóně působení ochrany. Následně budu v intervale po jedné vteřině snižovat napětí U o 0,1V dokud ochrana nezapůsobí a tím získám hraniční bod charakteristiky ochrany. Omicron také zaznamenává jak dlouho trvalo ochraně zareagovat na hodnotu, která způsobila její zapůsobení. Tím získáme i informaci o případném časovém rozdílu působení ochrany s a bez MU.

Výsledek měření **bez zapojené MU** můžete vidět na obrázku 5.10 a výsledek **se zapojenou MU** na obrázku 5.11. Pro oba typy zapojení ochranná funkce působí ve stejných bodech podle nastavení působení zóny ochrany. Z toho vyplývá, že podmínka zachování funkčnosti ochrany je splněna.

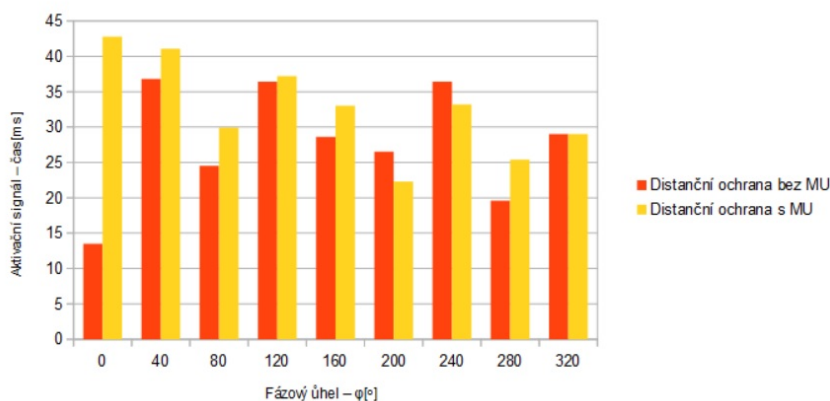
I [A]	úhel fáze A – φ [°]	U[V]	Aktivační signál – čas[ms]
2	0	9,9	13,5
2	40	6,2	36,8
2	80	4	24,5
2	120	4,6	36,4
2	160	10,6	28,6
2	200	10,6	26,5
2	240	4,6	36,4
2	280	4	19,6
2	320	6,2	29

Obrázek 5.10: Naměřené hodnoty testování distanční ochrany bez MU

I [A]	úhel fáze A – φ [°]	U[V]	Aktivační signál – čas[ms]
2	0	10	42,8
2	40	6,2	41,1
2	80	4	29,9
2	120	4,6	37,2
2	160	10,6	33
2	200	10,6	22,3
2	240	4,6	33,2
2	280	4	25,4
2	320	6,2	29

Obrázek 5.11: Naměřené hodnoty testování distanční ochrany s MU

Z naměřených hodnot lze vypočítat trend rychlejší odezvy ochrany bez MU. Srovnání rychlosti reakce obou zapojení lze vidět na obrázku 5.12. Průměrná doba odezvy **bez zapojené MU** je 27,92 ms a **se zapojenou MU** tato doba činí 32,66 ms. Průměrný rozdíl v rychlosti působení je tedy 4,73 ms, což činí přibližně 17% navýšení zpoždění.



Obrázek 5.12: Porovnání rychlosti působení ochrany s/bez MU

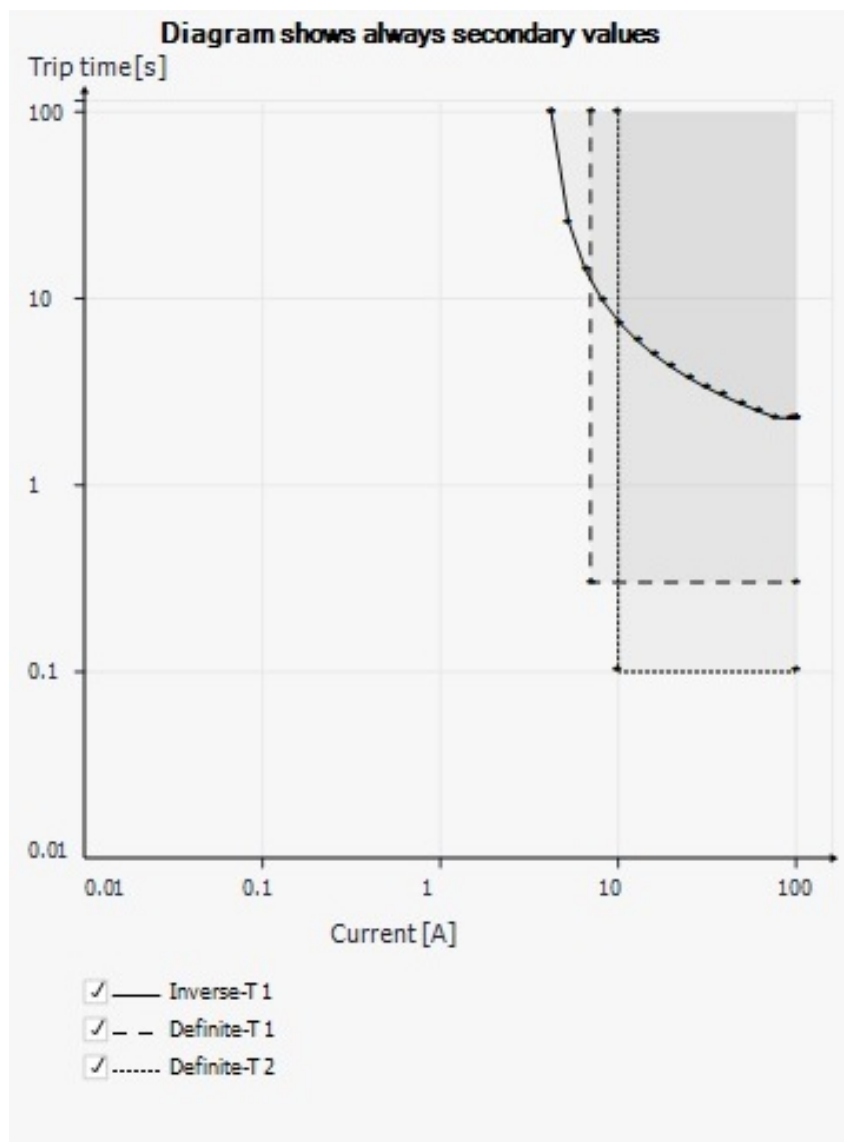
5.6 Měření funkce nadproudové ochrany

Pro měření nadproudové ochrany opět využijeme funkce Omicronu *QuickCMC* a změříme hraniční body charakteristické křivky ochrany. Budeme však měnit pouze para-

metr poruchového proudu a zjišťovat rychlost odezvy ochrany.

Abychom mohli provést měření nadproudové ochrany, musíme vypnout ochranu distanční, jelikož nadproudová ochrana je ochranou záložní a v případě zapnuté distanční ochrany by vždy působila právě ochrana distanční jako první.

Na obrázku 5.13 můžeme vidět charakteristickou křivku nadproudové ochrany. Tato křivka se skládá z jedné křivky inverzní a dvou časově nezávislých křivek.



Obrázek 5.13: Charakteristická křivka nadproudové ochrany

Nastavení každé z těchto křivek lze vidět na obrázku 5.14. Časové zpoždění pro časově nezávislé křivky je nastaveno na 0.1s a 0.3s. Důležité jsou hraniční hodnoty proudů, při kterých ochrana spíná. Jsou to tedy hodnoty 7A a 10A pro časově nezávislé křivky a 4A pro křivku inverzní.

Tyto hodnoty jsou přepočítané sekundární hodnoty pokud by se jednalo o zapojení s reálným vedením. V našem případě bude přímo sekundární hodnoty posílat na měřicí vstupy Omicron.

Definite-T 1	
21.201.661.1	Mode: on
21.201.661.2	Operate & fit.rec. blocked: no
21.201.661.26	Dynamic settings: no
21.201.661.8	Method of measurement: fundamental comp.
21.201.661.3	Threshold: 7.000 A
21.201.661.4	Dropout ratio: 0.95
21.201.661.102	Pickup delay: 0.00 s
21.201.661.101	Dropout delay: 0.00 s
21.201.661.6	Operate delay: 0.30 s
Definite-T 2	
21.201.662.1	Mode: on
21.201.662.2	Operate & fit.rec. blocked: no
21.201.662.26	Dynamic settings: no
21.201.662.8	Method of measurement: fundamental comp.
21.201.662.3	Threshold: 10.000 A
21.201.662.4	Dropout ratio: 0.95
21.201.662.102	Pickup delay: 0.00 s
21.201.662.101	Dropout delay: 0.00 s
21.201.662.6	Operate delay: 0.10 s
Inverse-T 1	
21.201.691.1	Mode: on
21.201.691.2	Operate & fit.rec. blocked: no
21.201.691.26	Dynamic settings: no
21.201.691.8	Method of measurement: fundamental comp.
21.201.691.3	Threshold: 4.000 A
21.201.691.108	Pickup delay: 0.00 s
21.201.691.130	Type of character. curve: IEC normal inverse
21.201.691.113	Min. time of the curve: 0.00 s
21.201.691.131	Reset: disk emulation
21.201.691.101	Time dial: 1.00
21.201.691.115	Additional time delay: 0.00 s

Obrázek 5.14: Nastavení charakteristické křivky nadproudové ochrany v DIGSI5

Měření provedeme při napětí nastaveném na jmenovitou hodnotu 57,74V a při fázovém úhlu první fáze 0°. Ostatní fáze musí být vyvážené, stejně jako u měření distanční ochrany.

K ověření spínací charakteristiky nadproudové funkce kterou lze vidět na obrázku 5.13 změříme křivku v několika bodech. První bod poblíž asymptoty časově závislé inverzní křivky, tedy v $I = 4.5A$. Dále ověříme zakřivení inverzní křivky v bodech $I = 5A$, $5.5A$ a $6.5A$. Pro ověření působení časově nezávislých funkcí to budou hodnoty proudu $I = 7.5A$, $8A$ a $9A$ pro první křivku a $I = 10.5A$, $11A$ a $12A$ pro křivku druhou.

Při každém měření opět zaznameneáme jak dlouho trvalo ochraně zareagovat. Tuto

hodnotu nám opět poskytne zařízení Omicron. Výsledky měření **bez zapojené MU** můžete vidět na obrázku 5.15 a výsledek **se zapojenou MU** na obrázku 5.16.

I [A]	Aktivační signál – čas[ms]
12	122,3
11	124,1
10,5	127,3
9	316,2
8	322,5
7,5	322,4
6,5	14390
5,5	22140
5	31360
4,5	60480

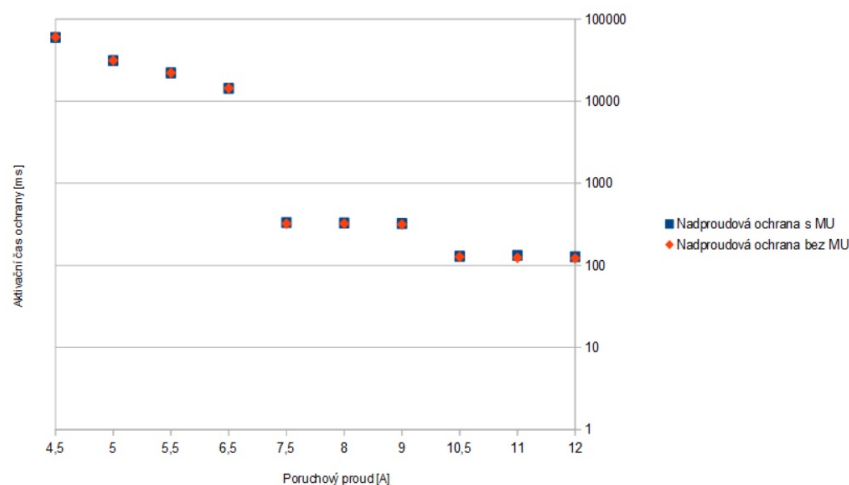
Obrázek 5.15: Aktivační čas ochrany bez MU

I [A]	Aktivační signál – čas[ms]
12	127,1
11	132,4
10,5	129,1
9	322,9
8	328,2
7,5	332,3
6,5	14360
5,5	22080
5	31210
4,5	59890

Obrázek 5.16: Aktivační čas ochrany s MU

Z naměřených hodnot je vidět, že ochrana spíná správně podle očekávání ať už s MU, nebo bez ní. Při měření bez MU je průměrná doba odezvy první a druhé časově nezávislé křivky 124,57ms a 320,37ms. Časově závislá křivka má moc dlouhou odezvu na to aby byl rozdíl relevantní. Pro měření s MU byla odezva v průměru o 4,97ms a 7,43ms pomalejší pro první a druhou křivku. Body měření zaznamenané do grafu lze vidět na obrázku

5.17. Naměřené hodnoty kopírují námi zadané charakteristiky časově nezávislých i inverzní křivky.



Obrázek 5.17: Porovnání spínacích charakteristik s/bez MU

5.7 Zachycení komunikace programem Wireshark

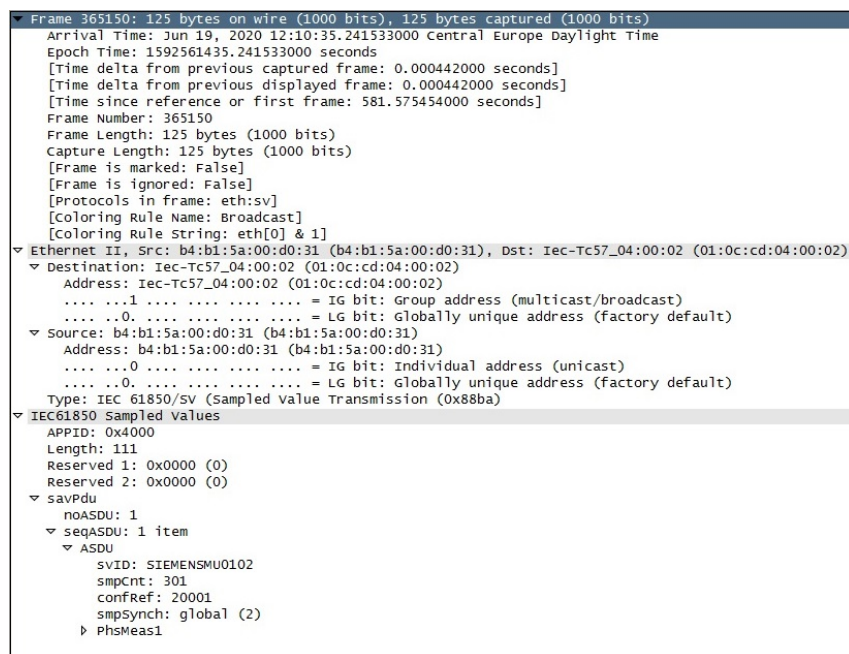
Počítačová aplikace Wireshark je protokolový analyzátor a paketový sniffer. Mezi jeho nejčastější použití patří analýza a ladění problémů v počítačových sítích, vývoj software, vývoj komunikačních protokolů a studium síťové komunikace.

Wireshark je software, který rozumí struktuře různých síťových protokolů. Díky tomu je schopen zobrazit zapouzdření a další pole i s jejich významy pro různé pakety odlišných protokolů. Wireshark používá pro zachytávání paketů knihovnu pcap, takže zachytí pouze pakety typů, které pcap podporuje.

Pro odposlech paketů v síti potřebujeme přístupový bod a dva uzly mezi kterými probíhá komunikace. K tomu slouží již zmíněný switch mezi MU a ochranou 7SA87.

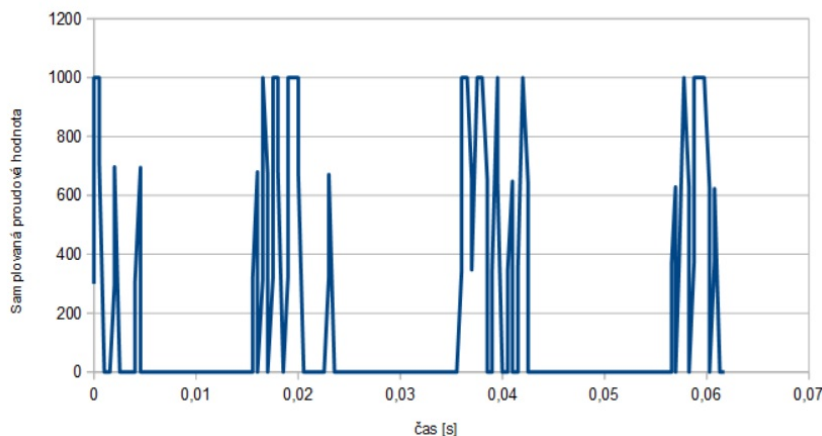
Aplikace umožňuje nastavení filtrů pro případ velkého provozu v síti. V našem případě však bude vidět pouze SMV pakety odesílané MU do ochrany, protože jiná komunikace zde neprobíhá a můžeme tedy wireshark nechat pracovat bez filteru.

Strukturu odposlechnutého packetu můžete vidět na obrázku . Zajímavé jsou source a destination adresy a jiné údaje nastavované při konfiguraci v DIGSI4 (IEC61850 system configurator) a programu ProConf. Můžeme si například zkontrolovat, že adresa je opravdu 01:0C:CD:04:00:02. Je vidět, že destination adres je multicast, protože osmý bit je 1. Pokud by byl nulový, jednalo by se o unicast stejně jako u source adresy.



Obrázek 5.18: Informace o packetu poskytované programem Wireshark

Pokud bychom rozklikli záložku *PhsMeas1* uviděli bychom přímo posílané hodnoty vybraným packetem. Exportoval jsem data z dvěstěpadesáti packetů poslaných v intervalu 0,06 vteřiny, složil je podle časové značky a vytvořil reprezentaci posílaného sámplovaného proudu v první fázi, kterou můžete vidět na obrázku 5.19.



Obrázek 5.19: Rekonstrukce proudu první fáze ze sámplovaných dat odesílaných MU

Z obrázku je patrné, že sámplovací frekvence 4000 Hz souhlasí, protože pro předpokládaných 80 vzorků na cyklus (250 vzorků odpovídá 3.125 cyklu) vidíme na obrázku 3 celé cykly. Také je zjevné, že MU odesílá pouze kladné hodnoty. Zároveň si můžeme všimnout, že odesílaná data nejsou změřené sekundární hodnoty odesílané na vstupy MU Omicronem.

6 Závěr

V úvodu této práce byla popsána základní problematika chránění linkového vedení. Dále byly představeny distanční a nadproudová ochranná funkce. Poté byla uvedena problematika získávání a rekonstrukce signálu. Podle Nyquistova teorému musí být vzorkovací frekvence dvojnásobná oproti frekvenci vzorkovaného signálu. Toto kritérium je splněno a vzorkovací frekvence nám poskytne 80 vzorků za jeden cyklus měřeného sinového signálu proudu nebo napětí. Dále je popsána norma IEC61850 a související ISO/OSI model. Je zde popsána požadovaná struktura konfiguračních souborů a jejich komunikace mezi přístroji. Poté je určena 2. vrstva jako vrstva komunikace mezi MU a ochranou. V této vrstvě se ke komunikaci užívají multicast packety.

Dále se práce zabývá popisem SIPROTEC 5 7SA87, Merging unit 6MU805 a Omicron CMC256 Plus. Nejprve je popsáno jakým způsobem vzorkuje data ochrana SIPROTEC 5 7SA87 když není použita MU. Vzorkovací frekvence samotné ochrany je nastavena na 16 kHz. Která je pak při korekci snížena na 8 kHz. V další části je popsána struktura funkční skupiny ochrany navržené pro chránění linkového vedení. Popis ochrany 7SA87 je zakončen seznámením se strukturou a možnostmi konfigurace časové synchronizace. Následuje popis 6MU805, kde jsou vysvětleny základní funkce ochrany a to získávání dat, jejich synchronizace a následný přenos. MU sampluje hodnoty podle normy IEC vzorkovací frekvencí 4000 kHz což nám dává 80 vzorků na jeden cyklus sinusového signálu o frekvenci 50 Hz. Data jsou přenášena pomocí telegramu IEC 61850-9-2 ve formátu multicast. V našem případě byla Destination adress zvolena 01:0C:CD:04:00:02. Data jsou synchronizována pomocí IRIG-B signálu přenášeného GPS připojené optickým kabelem k MU. Jako poslední je v této kapitole uveden popis přístroje Omicron CMC256 Plus, který bude v praktické části simulovat síť a měřící transformátory.

Další kapitola popisuje distanční a nadproudovou ochranou funkci, které byly využité v praktické části. Byla obecně popsána jejich struktura a možnosti nastavení jejich parametrů. Konkrétní nastavení parametrů ochranných funkcí je uvedeno v praktické části.

Předposlední kapitola popisuje náhradu klasického zapojení zapojením s MU. Je vysvětlena struktura konfiguračních dat potřebných pro zprovoznění komunikace mezi MU a ochranou. Vysvětluje kam se zapisuje přiřazení MU k ochraně, IP adresy, přístupové body a MAC adresy. Kam se zapisují datové objekty, funkce a jaké logické uzly obsahují. V další části této kapitoly je popsána práce s konfiguračními programy a to DIGSI5, IEC 61850 System Configurator a ProConf. Tyto programy vytvářejí konfigurační soubory jejichž použití a obsah je zde také vysvětlen. Dále je popsáno několik možností konfigurace

parametrů těchto konfiguračních souborů. V závěru je popsáno připojení signálu IRIG-B a shrnutí návrhu ochrany linkového vedení za pomoci MU. Princip chránění je stejný jako bez použití MU. Rozdíl je právě v části získávání naměřených dat. Od měřících přístrojových transformátorů přijímá signály MU která je navzorkuje a ochraně je odešle v digitální podobě přes rozhraní se síťovou kartou.

Závěrem práce je laboratorní měření srovnávající zapojení ochrany s MU a bez MU. Cílem bylo ověřit, že smplované hodnoty merging unitou zajistí nejen správné působení ochranných funkcí podle jejich nastavení, ale zajistí je i v dostatečném čase. Rozdíl zapojení je takový, že jednou je Omicron připojen přímo do ochrany a podruhé do MU, která ochraně data zprostředkuje. Pro účely měření jsme využili distanční a nadproudovou ochranu s parametry nastavenými podle kapitoly "Konfigurace ochranných funkcí".

Distanční ochrana má nastavenou jednu zónu s rozměry 5Ω v reálné složce a 2Ω pro část imaginární. Pro ověření spínací charakteristiky jsme zjistili polohu hraničních bodů křivky. Tyto body mají souřadnice určeny impedancí, která je určena veličinami napětí, proudu a fázového úhlu. Abychom získali tyto hraniční body nastavili jsme v Omicronu pro všechna měření hodnotu proudu na 2A a postupně měnili fázový proud po 40° . Když jsme měli nastavený proud a fázový úhel, nastavili jsme napětí ve fázi na jmenovitou hodnotu a postupně snižovali dokud nezapůsobila ochrana. Tím jsme získali všechny souřadnice hraničního bodu a přístroj Omicron připojený binárními výstupy zároveň zaznamenal rychlost reakce ochrany na tuto hraniční hodnotu. Postup jsme opakovali se zapojením s MU. Porovnáním výsledků jsme zjistili, že hraniční body působení ochrany s nebo bez MU se neliší. Rozdíl byl v rychlosti působení ochrany. Při zapojení s MU ochrana reagovala v průměru o 4,73 ms pomaleji.

Nadproudová ochranná funkce se skládá ze dvou časově nezávislých a jedné inverzní časově závislé křivky. Časové zpoždění nezávislých křivek bylo nastaveno na 0.1s a 0.3s. Hodnoty poruchového proudu při kterých má křivka sepnout byly nastaveny na 7A a 10A. Pro inverzní křivku byla hranice 4A. Měření provedeme při fázi 0° a 57,74V (jmenovité napětí). Poté jsme nastavili hodnotu proudu, spustili měření a zaznamenali rychlost reakce působení ochrany. Křivku jsme ověřili v několika bodech tak, aby byly prověřeny všechny stupně. Z naměřených hodnot jsme zjistili, že pro zapojení s MU má ochrana pro první stupeň zpoždění v průměru 4.97 ms a pro druhý stupeň 7.43 ms oproti zapojení bez MU. Časy působení inverzní křivky jsou moc dlouhé na to, aby byl takto malý rozdíl znatelný.

V úplném závěru práce je ukázán packet komunikace mezi MU a ochranou zachycený programem Wireshark, kde je možné vidět nastavení parametrů komunikace a adresy. Z packetu lze také vyexportovat odesílaná navzorkovaná data. Data z 250 packetů jsem

složil a zrekonstruoval odesílaný signál proudu první fáze. Lze pak vidět, že odpovídá vzorkovací frekvence a že odesílaná data nejsou změřené sekundární hodnoty odesílané na vstupy MU Omicronem. Tyto hodnoty musí být dále ještě převedeny v ochraně.

Seznam použité literatury

- [1] GRYM, Rudolf. Chránění II. Havířov: IRIS, c2004. Pracovní a učební pomůcka / IRIS. ISBN 80-903540-0-9.
- [2] GRYM, HOCHMAN, MACHOŇ, CHMELIK, HANUŠ, TOMAN, Chránění III., IRIS 2005
- [3] Bartoš P., VÝPOČET NASTAVENÍ DISTANČNÍCH OCHRAN V SÍTI 110 KV, Brno 2012
- [4] Přednášky předmětu OZS
- [5] SIPROTEC 5 7SA87, 7SD87, 7SL87, 7VK87 LineProt 1-/3-pol - Manual [online] Navštíveno naposledy 28. dubna 2020, na <https://support.industry.siemens.com>
- [6] DOHNÁLEK P., Ochrany pro průmysl a energetiku, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1978, L12-B3-IV-41/52289
- [7] Webinář společnosti Omicron
<https://www.omicronenergy.com/en/products/cmc-256plus/>
- [8] SIPROTEC 5 Process Bus V7.80 and higher Manual [online] Navštíveno naposledy 28. dubna 2020, na <https://support.industry.siemens.com>
- [9] SIPROTEC Merging Unit 6MU805 V4.01 Manual [online] Navštíveno naposledy 28. dubna 2020, na <https://support.industry.siemens.com>
- [10] Protection of Lines or Feeder | Electrical4U. Electrical4U: Learn Electrical Engineering Basics & Principles [online] Navštíveno naposledy 18. března 2020, na <https://www.electrical4u.com/protection-of-lines-or-feeder/>
- [11] Rapid Spanning Tree Protocol – Wikipedia. [online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Spanning_Tree_Protocol#Rapid_Spanning_Tree_Protocol
- [12] HSR - Wikipedia. [online]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/HSR>
- [13] PRP - Wikipedia. [online]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/PRP>