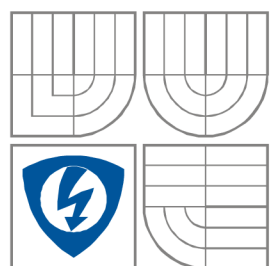


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY  
A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC  
ENGINEERING

# **SYSTÉMY OCHRAN A VZDÁLENÉHO ŘÍZENÍ VN ROZVODNY S POUŽITÍM OCHRAN S KOMUNIKACÍ PROFIBUS A IEC61850**

**THE SYSTEMS OF PROTECTION AND REMOTE CONTROLLING OF MV SWITCHGEAR BY USING  
IED WITH COMMUNICATION PROTOCOL PROFIBUS AND IEC61850**

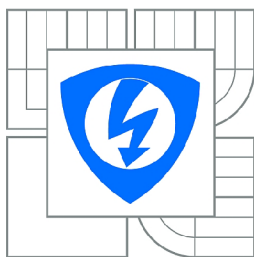
**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Bc. Jan Tesařík

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

Ing. Rostislav Huzlík



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika**

**Student:** Bc. Jan Tesařík

**ID:** 106831

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2013/2014

## NÁZEV TÉMATU:

**Systémy ochran a vzdáleného řízení vn rozvodny s použitím ochran s komunikací Profibus a IEC61850**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proved'te literární rešerši na téma ochran s komunikací Profibus a IEC61850 komunikací
2. Navrhněte řešení ochran zahrnující ochrany ABB a Siprotec.
3. Navrhnutý systém ochran realizujte, proved'te konfiguraci a otestujte.
4. V rámci programu LabVIEW vytvořte softwarovou emulaci ochrany s komunikací IEC61850.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Firemní literatura firmy ABB
- [2] Patel, N.: IEC 61850 Horizontal Goose Communication and Overview, Saarbrucken 2011, ISBN 978-3-8465-4632-1
- [3] Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích, skriptum VUT v Brně, 1985, 160s.
- [4] Vlach J., Havlíček J., Vlach M.: Začínáme s LabVIEW, BEN 2008, ISBN: 978-80-7300-245-9

**Termín zadání:** 27.9.2013

**Termín odevzdání:** 28.5.2014

**Vedoucí práce:** Ing. Rostislav Huzlík

**Konzultanti diplomové práce:**

**Ing. Ondřej Vítek, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

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

## Abstrakt

Tato Diplomová práce se zabývá systémy ochran a vzdáleného řízení VN rozvodny s použitím ochran s komunikací PROFIBUS a IEC61850.

První část této práce reprezentuje teoretický úvod do problematiky. V první podkapitole se čtenář seznámí s komunikačním standardem IEC61850, dále typickou architekturou rozvodny postavené na tomto standardu. Poté je představen datový model a komunikační síť IEC61850. Druhá podkapitola je věnovaná komunikaci PROFIBUS. Zde je nejprve popis tohoto systému pomocí OSI modelu a následně je rozebrána přenosová technologie RS485 společně s komunikačními protokoly PROFIBUS-DP. Poslední část teoretického úvodu je věnována komunikačnímu protokolu MODBUS. V této podkapitole se čtenář seznámí s tímto komunikačním protokolem, získá základní pohled na jeho komunikační vrstvy, a je uveden do problematiky mapování dat v MODBUS.

Druhá část se zabývá použitými ochrannými terminály od firem Siemens a ABB a převodníku od firmy HMS. Jednotlivé podkapitoly představují postupně tato zařízení. V první podkapitole je popis ochrany REM620 od firmy ABB, představení základů konfigurace a postup práce na bázi standardu IEC61850. Prostřední podkapitola je věnována HMS Anybus komunikátoru pro PROFIBUS. Po úvodu ve formě představení jsou rozebrány základní funkce tohoto zařízení, model výměny dat a popis jednotlivých komunikačních protokolů, se kterými tento převodník pracuje. V poslední podkapitole je popsán ochranný terminál od firmy Siemens SIPROTEC 7SJ64 s důrazem na jeho komunikační rozhraní.

Třetí částí této diplomové práce začíná praktická část, která rozebírá dva typy systému zapojení ochranných terminálů a použité komunikační protokoly. První systém je připojení ochrany REM620 do sítě PROFIBUS pomocí převodníku od firmy HMS. Čtenář zde nalezne postup konfigurace těchto zařízení v software PCM600 a *Anybus Configuration Manager* a engineering testování komunikačních protokolů MODBUS v software ModScan, který je dále pomocí Anybus převodníku konvertován na protokol PROFIBUS. Pro konfiguraci sítě PROFIBUS byl použit software *PROFIBUS Master Simulator*. V rámci testování se pracovalo se signály na vyčítání pozic vypínače a hodnoty měření z ochrany REM620 a zpět byl poslán příkaz na reset alarmu od ochranných funkcí. Druhý systém představuje zapojení ochrany SIPROTEC 7SJ64 do ethernet switche a engineering této ochrany pro vertikální komunikaci IEC61850. V rámci testování byly nakonfigurovány dva signály, které byly ovládány pomocí tlačítek na čelním panelu ochrany a následně vyčítány pomocí software *ITT600 SA Explorer*. Na konec je srovnán engineering obou postupů a doporučení pro další práci s těmito zařízeními.

Poslední část se zabývá prací s nástrojem LabVIEW. V rámci tohoto nástroje byla vytvořena softwarová emulace ochrany. Program nabízí uživateli zadání vstupních efektivních hodnot napětí a proudu, dále fázový posun pro jednotlivé fáze proudu a nakonec nastavení prahových hodnot ochranných funkcí. Měřené signály jsou zobrazeny graficky. Z ochranných funkcí má uživatel na výběr nadproudovou ochranu, ochranu proti přepětí a nadpětí, frekvenční ochranu a nakonec zpětnou wattovou ochranu fází proudu.

## Klíčová slova

IED; REM620, SIPROTEC 7SJ64; IEC61850; MODBUS; PROFIBUS; HMS Anybus převodník; engineering; ochranný terminál

## **Abstract**

This Diploma thesis deals with the system for protection and remote control for MV switchgear by using protection relays with communication protocols PROFIBUS and IEC61850.

The first part represents a theoretical introduction to points at issue. In the first part, the reader will get conceived with the communication standard IEC61850 and its typical architecture for MV switchgear, and also with data model based on this standard. Second part discusses the PROFIBUS communication protocol. In this part, the reader can acquire information about transmit technology and communication protocol for PROFIBUS. Last part of this theoretical chapter contains an overview on the MODBUS communication.

The second part deals with the description of protection relays, which were used for the purposes of this thesis. In the first subchapter, the reader can learn about the REM620 from ABB Company, its configuration and cooperation with IEC61850 standard. Second subchapter describes the HMS Anybus communication converter. The reader will get further knowledge about description of this device and how to configure the communication protocols. In last subchapter, a description of protection relay SIPROTEC 7SJ64 produced by Siemens company is explained.

With the third part starts the practical work within this thesis with protection relays. This chapter is divided into two parts; each describes different system with using the protection relays. First system contains ABB REM620 relay and HMS Anybus converter. By converting MODBUS protocol with the Anybus converter, the REM620 can be connected to PROFIBUS network. This part includes the configuration of REM620 and Anybus converter, the engineering of MODBUS and PROFIBUS protocols and testing various signals in those networks. The second system contains Siemens SIPROTEC 7SJ64 and ethernet switch. This subchapter deals with the preparation of configuration for SIPROTEC 7SJ64 and the engineering for IEC61850 communication. This part finishes with the comparing of both systems on the engineering bases.

The last part of this thesis is about working with the LabVIEW instrument. Within this part, the software emulation of protection relay was made. The program offers to the user the possibility of setting input parameters as the effective values of current and voltage, the frequency and the current phase shift. Also the user can set the thresholds for protection functions, such as the Overcurrent, the Voltage and the Frequency protection. As last one, the Phase unbalance protection for the current phases is present.

## **Keywords**

IED; REM620, SIPROTEC 7SJ64; IEC61850; MODBUS; PROFIBUS; HMS Anybus converter; engineering; protection relay

## **Bibliografická citace**

TESAŘÍK, J. *Systémy ochran a vzdáleného řízení vn rozvodny s použitím ochran s komunikací Profibus a IEC61850*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 75 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Rostislav Huzlík

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Systém ochran a vzdáleného řízení VN rozváděče s použitím ochran s komunikací PROFIBUS a IEC61850 jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

Podpis autora .....

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval své rodině za to, že mne během celého studia podporovali a stáli za mnou i v těch nejtěžších chvílích. Dále bych rád poděkoval firmě ABB, konkrétně oddělení ochran v Brně, za možnost zpracování této práce a za cenné poznatky z praxe, které mi během praktické části práce velmi pomohly. Závěrem děkuji svému vedoucímu Ing. Rostislavovi Huzlíkovi za metodické vedení práce a pomoc při práci s nástrojem LabVIEW.

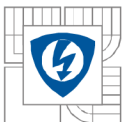
V Brně dne .....

Podpis autora .....





## OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>5</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>13</b>
<b>2 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>14</b>
<b>3 POPIS KOMUNIKAČNÍCH STANDARDŮ IEC61850, PROTOKOLU PROFIBUS A MODBUS</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1 IEC61850</b> .....	<b>15</b>
3.1.1 POPIS STANDARDU IEC61850.....	15
3.1.2 ARCHITEKTURA ROZVODNY .....	17
3.1.3 DATOVÝ MODEL IEC61850.....	18
3.1.4 KOMUNIKAČNÍ SÍŤ .....	21
<b>3.2 PROFIBUS</b> .....	<b>23</b>
3.2.1 POPIS SYSTÉMU PROFIBUS.....	23
3.2.2 PROFIBUS PŘENOS A KOMUNIKACE .....	24
<b>3.3 MODBUS</b> .....	<b>30</b>
3.3.1 POPIS KOMUNIKAČNÍHO PROTOKOLU MODBUS .....	30
3.4 APLIKAČNÍ FUNKCE MODBUS .....	32
3.4.1 PRINCIP MAPOVÁNÍ DAT V MODBUS.....	32
<b>4 POPIS POUŽITÝCH ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1 OCHRANNÝ TERMINÁL REM620</b> .....	<b>34</b>
4.1.1 POPIS OCHRANNÉHO TERMINÁLU REM620.....	34
<b>4.2 HMS ANYBUS COMMUNICATOR PRO PROFIBUS</b> .....	<b>37</b>
4.2.1 POPIS ZAŘÍZENÍ .....	37
4.2.2 ZÁKLADNÍ FUNKCE .....	38
4.2.3 MODEL VÝMĚNY DAT.....	38
4.2.4 PROTOKOL PODŘÍZENÉ SÍTĚ (SUBNETWORK).....	39
<b>4.3 OCHRANNÝ TERMINÁL SIPROTEC 7SJ64</b> .....	<b>41</b>
4.3.1 POPIS TERMINÁLU 7SJ64.....	41
<b>5 NÁVRH A REALIZACE SYSTÉMU OCHRAN</b> .....	<b>43</b>
<b>5.1 NÁVRH SYSTÉMU KOMERČNÍCH OCHRAN OD FIREM ABB A SIEMENS</b> .....	<b>43</b>
<b>5.2 PŘIPOJENÍ REM620 DO SÍTĚ PROFIBUS POUŽITÍM PŘEVODNÍKU HMS ANYBUS COMMUNICATOR</b> .....	<b>43</b>
5.2.1 KONFIGURACE OCHRANY REM620 .....	44
5.2.2 KONFIGURACE PŘEVODNÍKU HMS ANYBUS CONVERTER .....	50
5.2.3 TESTOVÁNÍ PROFIBUS KOMUNIKACE POMOCÍ SOFTWARE PROFIBUS MASTER SIMULATOR .....	54
<b>5.3 IEC 61850 HORIZONTÁLNÍ KOMUNIKACE PRO SIEMENS SIPROTEC 7SJ64</b> .....	<b>58</b>

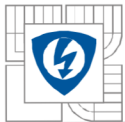
	<p style="text-align: center;"><b>ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY</b>  Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  Vysoké učení technické v Brně</p>	6
<p>5.3.1 KONFIGURACE OCHRANY SIPROTEC 7SJ64 .....58</p> <p>5.3.2 TESTOVÁNÍ KOMUNIKACE POMOCÍ SOFTWARE ITT600 SA EXPLORE .....62</p> <p><b>5.4 SROVNÁNÍ ENGINEERINGOVÝCH POSTUPŮ .....65</b></p> <p><b>6 LABVIEW.....67</b></p> <p><b>6.1 POPIS SOFTWARE LABVIEW .....67</b></p> <p><b>6.2 VYTVOŘENÍ SOFTWARE EMULACE OCHRANY .....68</b></p> <p><b>7 ZÁVĚR.....72</b></p> <p><b>PŘÍLOHY .....73</b></p> <p><b>LITERATURA .....74</b></p>		



	<b>ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY</b> Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Vysoké učení technické v Brně	7
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>		
<p><i>Obrázek 1- Příklady architektury rozvodny [2]..... 17</i></p> <p><i>Obrázek 2 Komunikační struktura IEC61850 [2]..... 18</i></p> <p><i>Obrázek 3 Datová hierarchie modelu IEC61850 [2]..... 18</i></p> <p><i>Obrázek 4 ACSI síť Server – aplikace [2] ..... 21</i></p> <p><i>Obrázek 5 Komunikace mezi aplikacemi a logickými uzly[2] ..... 22</i></p> <p><i>Obrázek 6 OSI model Profibus [4]..... 23</i></p> <p><i>Obrázek 7 Vedení a bus terminator pro přenosovou technologii RS485 [4] ..... 26</i></p> <p><i>Obrázek 8 Funkcionalita verzí protokolu PROFIBUS-DP[4]..... 28</i></p> <p><i>Obrázek 9 Cyklický a acyklický přenos dat verze DP-V1[4]..... 29</i></p> <p><i>Obrázek 10 Ochranný terminál REM620 [5] ..... 34</i></p> <p><i>Obrázek 11 Blok vypínače v PCM600..... 35</i></p> <p><i>Obrázek 12 Anybus Communicator[6]..... 37</i></p> <p><i>Obrázek 13 Datový model vnitřní paměti ABC [6]..... 38</i></p> <p><i>Obrázek 14 Části paměti v ACM [6]..... 39</i></p> <p><i>Obrázek 15 Master Mode komunikace [6] ..... 40</i></p> <p><i>Obrázek 16 Siemens Siprotec 4 7SJ64 [16]..... 41</i></p> <p><i>Obrázek 17 Schéma zapojení REM620 do sítě PROFIBUS ..... 43</i></p> <p><i>Obrázek 18 COM port ve Správci zařízení Windows ..... 46</i></p> <p><i>Obrázek 19 Nastavení software ModScan..... 46</i></p> <p><i>Obrázek 20Připojení ModScan ..... 47</i></p> <p><i>Obrázek 21 Chyba spojení ModScan..... 47</i></p> <p><i>Obrázek 22Vyčítání pozice CB - ModScan..... 47</i></p> <p><i>Obrázek 23 ModScan -vyčítání proudu ..... 48</i></p> <p><i>Obrázek 24 ModScan - hodnoty napětí..... 48</i></p> <p><i>Obrázek 25 ModScan - hodnoty výkonu ..... 48</i></p> <p><i>Obrázek 26 Reset příkaz - ModScan..... 48</i></p> <p><i>Obrázek 27 Reset příkaz - ModScan..... 49</i></p> <p><i>Obrázek 28 ACM interface ..... 50</i></p> <p><i>Obrázek 29 ACM master network konfigurace ..... 50</i></p> <p><i>Obrázek 30 ACM parametry subnetwork ..... 51</i></p> <p><i>Obrázek 31 ACM zadávání parametrů..... 51</i></p> <p><i>Obrázek 32 ACM subnetwork konfigurace ..... 52</i></p>		

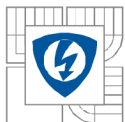
	<b>ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY</b> Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Vysoké učení technické v Brně	8
Obrázek 33 ACM subnetwork konfigurace 2 .....	52	
Obrázek 34 ACM připojení .....	53	
Obrázek 35 PMS interface .....	54	
Obrázek 36 PMS Slave adresa .....	54	
Obrázek 37 PMS připojení .....	55	
Obrázek 38 PROFIBUS vstupní data .....	55	
Obrázek 39 Organizace dat v PMS .....	55	
Obrázek 40 PROFIBUS Analogové hodnoty .....	56	
Obrázek 41 PROFIBUS výstupní data .....	57	
Obrázek 42 PROFIBUS posílání příkazu .....	57	
Obrázek 43 PROFIBUS vyčítání příkazu .....	57	
Obrázek 44 SIPROTEC objednávací kód .....	58	
Obrázek 45 SIPROTEC komunikační protokol .....	58	
Obrázek 46 Nastavení komunikace DIGSI .....	59	
Obrázek 47 Konfigurace Signálu SIPROTEC .....	59	
Obrázek 48 IEC61850 adresa SIPROTEC .....	60	
Obrázek 49 CFC chart Siprotec .....	60	
Obrázek 50 IEC61850 CFC chart .....	60	
Obrázek 51 DIGSI konfigurace .....	61	
Obrázek 52 IEC61850 station konfigurace .....	61	
Obrázek 53 IEC61850 station Dataset .....	61	
Obrázek 54 Dataset Siprotec .....	62	
Obrázek 55 ITT600 přidání IED .....	62	
Obrázek 56 ITT600 připojení IED .....	63	
Obrázek 57 ITT600 hledání IED dle IP .....	63	
Obrázek 58 ITT600 nalezení IED dle IP .....	63	
Obrázek 59 ITT600 Siprotec Data set .....	64	
Obrázek 60 ITT600 povolení RCB bloku .....	64	
Obrázek 61 ITT600 vyčítání signálu .....	64	
Obrázek 62 LabVIEW - úvodní obrazovka .....	67	
Obrázek 63 LabView - Vstupní hodnota napětí .....	68	
Obrázek 64 LabView - Sine waveform a Set waveform attribute .....	69	
Obrázek 65 LabView – Nadproudová ochrana .....	69	

	<b>ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY</b> Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Vysoké učení technické v Brně	9
<i>Obrázek 66 PCM600 Nadproudová ochrana pro REM620.....</i>	70	
<i>Obrázek 67 LabView - Přepětiová ochrana .....</i>	70	
<i>Obrázek 68 Labview - Podpětiová ochrana .....</i>	70	
<i>Obrázek 69 LabView - Frekvenční ochrana .....</i>	71	
<i>Obrázek 70 LabView - Ochrana fázového posunu.....</i>	71	



## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 3-1 Standardy IEC61850 [7].....</i>	<i>16</i>
<i>Tabulka 3-2 Přenosová rychlost a dosah pro kabel typu A [4].....</i>	<i>24</i>
<i>Tabulka 3-3 Přenosové technologie v PROFIBUS [4].....</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 3-4 Verze DP protokolu PROFIBUS .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabulka 5 Výpis části podporovaných aplikačních funkcí MODBUS[5].....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 6 Názvy funkčních bloků dle standardů IEC [5] .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 7 Stavové pozice CB.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 8 Fázové hodnoty proudu.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 9 Fázové hodnoty napětí.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 10 Měření výkonu.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 11 Ovládací příkaz Reset - MODBUS.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 12 Nastavení MODBUS pro REM620 v PCM600.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 13 Nastavení parametrů COM1 v REM620<sup>1)</sup> .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 14 Parametry zařízení Phoenix Contact .....</i>	<i>53</i>



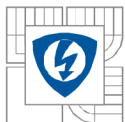
## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

DS	<i>Distribuční síť</i>
ABB	<i>Asea Brown Boveri</i>
NN, VN, VVN	<i>nízké-, vysoké-, velmi vysoké napětí</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IED	<i>Intelligent Electronic Device</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
ACSI	<i>Abstract Communication Service Interface</i>
TPAA	<i>Transmission Protocol Application Association</i>
GSE	<i>Generic Substation Event</i>
GOOSE	<i>Generic Object Oriented Event</i>
FMS	<i>Fieldbus Message Specification</i>
DP	<i>Decentralized Periphery</i>
ISO/OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PA	<i>Process Automation</i>
MBP	<i>Modbus Plus</i>
RS	<i>Recommended Standard</i>
IS	<i>Intrinsically Safe</i>
SLAVE	<i>Podřízený</i>
MASTER	<i>Nadřazený</i>
PLC	<i>Programmable Logical Automat</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
SCADA	<i>Supervision Control And Data Acquisition</i>
PCM	<i>Protection and Control Management</i>
CB	<i>Circuit Breaker – vypínač v rozváděči</i>
Mbit	<i>Mega bit</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
VDC	<i>Stejnoseměrné napětí</i>
ACM	<i>Anybus Communication Manager</i>
PMS	<i>PROFIBUS Master Simulator</i>
LabVIEW	<i>Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench</i>



VI *Virtual Instrument*

RTD *Resistance Temperature Detectors*



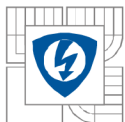
## 1 ÚVOD

S rozvojem spotřeby elektrické energie se automaticky zvyšují nároky na technické řešení distribuční sítě (DS). Mezi nejdůležitější prvky DS patří rozvodny nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí. Neustálý vývoj v elektrotechnice a komunikačních technologiích reflektuje stoupající požadavky na vzdálené řízení, chránění a monitoring rozváděčů elektrické energie.

Nástup softwarových nástrojů pro automatizaci řídicích systémů rozvoden, využívající pro přenos dat sérové linky, postupně vytlačuje zastaralá řešení komunikace po měděných vodičích. Tyto systémy, jako například SPABUS (ABB) nebo PROFIBUS (Siemens), používají standardy definované většinou samotnými výrobci.

Nevýhoda těchto systémů je navzájem nehomogenní funkčnost a minimální možnosti propojitelnosti. Vzájemná propojení zařízení od různých výrobců tak zvyšuje náklady na engineering, což se negativně promítá do konečné ceny projektů. Proto byla potřeba navrhnout takový komunikační standard, který by zavedl do řízení rozvoden NN, VN a VVN jednoznačný řád a stabilitu za použití nejnovějších technologií.

Cílem inženýrů napříč elektrotechnickým světem bylo navrhnout takový standard, který by umožňoval decentralizované řízení rozvoden a optimalizoval samotné řízení, ideálně s minimálními lidskými zásahy tak, aby byl použitelný nezávisle na typu nebo výrobci zařízení. Tyto podmínky stávající systémy nesplňovaly. Proto vznikl komunikační standard a protokol IEC61850, který kladl důraz na výše zmíněné a zároveň byl schopen zajišťovat zpětnou kompatibilitu všech zařízení na rozvodně a také podporovat technologický rozvoj v automatizaci rozváděčů elektrické energie.



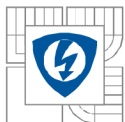
## 2 CÍLE PRÁCE

První část této diplomové práce se zabývá teoretickým rozбором problematiky vzdáleného řízení a chránění rozvodů pomocí komerčních ochran od výrobců ABB a Siemens a komunikačních standardů MODBUS, PROFIBUS a IEC61850.

Hlavním cílem práce je návrh a realizace systémů ochran Relion od firmy ABB a SIPROTEC od firmy Siemens. V rámci návrhu a realizace je popsána konfigurace ochranných terminálů Relion REM620 a SIPROTEC 76SJ42, a dále konfigurace převodníku *Anybus Communicator* od firmy HMS a jeho použití pro konverzi protokolu MODBUS na protokol PROFIBUS. Podobný postup je použitý pro testování komunikačního standardu IEC61850 pro SIPROTEC 76SJ42. Závěrem je srovnání náročnosti na engineering obou postupů.

Doplňujícím tématem této práce je vytvoření softwarové emulace ochrany s komunikací IEC 61850 v programu LabVIEW.





## 3 POPIS KOMUNIKAČNÍCH STANDARDŮ IEC61850, PROTOKOLU PROFIBUS A MODBUS

### 3.1 IEC61850


#### 3.1.1 Popis standardu IEC61850

Možnost vybudovat výkonový nástroj automatizačních systémů závisela na silném technologickém vývoji velkých integrovaných obvodů, vedoucí k použití výhodných, rychlých a výkonných mikroprocesorů. Výsledkem byla evoluce sekundárního vybavení rozváděčů, od elektro-mechanických částí až po digitální zařízení. Toho se dosáhlo použitím inteligentních elektronických zařízení (IED), které zajišťují požadované funkce (chránění, lokální a vzdálené monitorování a řízení, atd.). Důsledkem bylo neustálé zvyšování nároků na efektivní komunikaci mezi IED a standardizaci komunikačního protokolu. Původně totiž každý výrobce IED vyvíjel svůj vlastní protokol, což vedlo k nákladnému řešení na převodníky mezi jednotlivými protokoly při použití IED od různých výrobců.

Zkušenosti z průmyslu vedly k poznání, že je zapotřebí standardní sémantiky, abstraktní komunikační služby, která by mohla být použita pro různé komunikační protokoly, popisy konfigurací a inženýrské procesy, což by pomohlo hladké spolupráci mezi IED od různých výrobců. Také bylo žádoucí, aby IED od jedné firmy mohlo být nahrazeno IED vyrobené jinou firmou, aniž by bylo nutné měnit další elementy v systému. Aby toto fungovalo, společný konsensus všech výrobců ochran byl velmi žádoucí. Proto standard IEC61850 mimo jiné zajišťuje následující:

- kompletní komunikační profil je postaven na existujícím IEC/IEEE/ISO/OSI komunikačním standardu, pokud je to možné
- použité protokoly budou otevřené, bude možné do nich přidávat nové funkce
- standard je založen na datových objektech potřebných pro elektrický výkonový průmysl
- a další

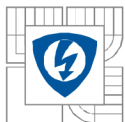
Mezinárodní elektrotechnickou komisí byl vytvořen souborem norem pro výrobce IED pro splnění všech požadavků a certifikací. Pro uživatele IED jsou nejdůležitější následující normy:

	<b>ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY</b> Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Vysoké učení technické v Brně	16
---	---	----

Tabulka 3-1 Standardy IEC61850 [7]

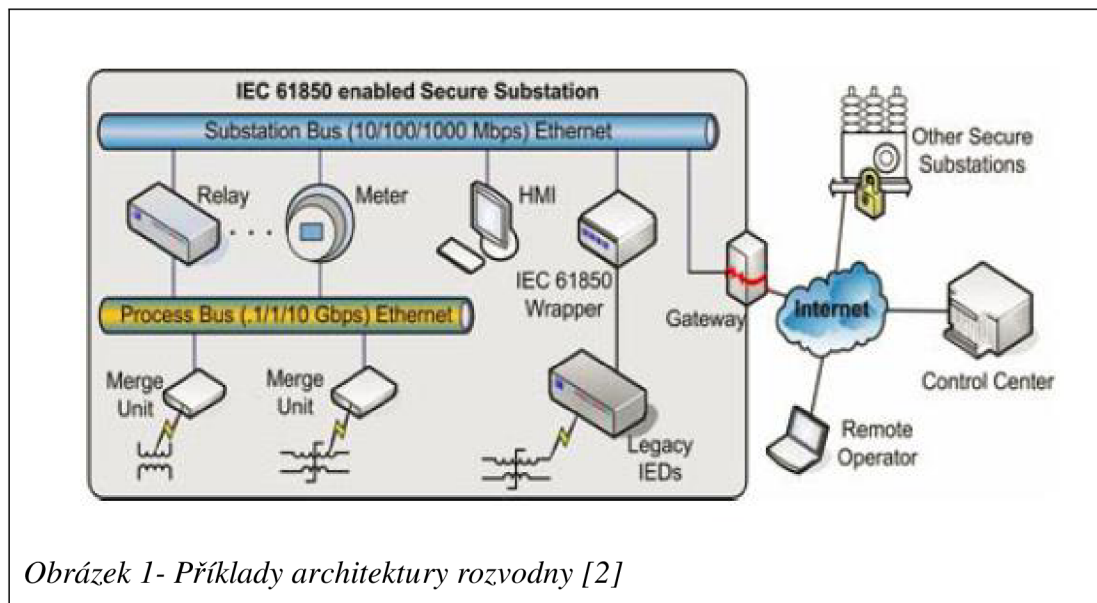
Označení normy	Název	Charakteristika
IEC61850-5	Požadavky na komunikaci pro funkce a modely zařízení	Definice komunikace mezi IED a systémem rozvodny, požadavky na jednotlivé typy zprávy mezi nimi. Dále definice názvů logických uzlů jednotlivých zařízení.
IEC61850-6	Konfigurační popisový jazyk pro komunikaci v elektrických stanicích týkající se IED	Definice formátů souborů pro popis konfigurace jednotlivých IED a komunikačního systému. Definování značkovacího jazyka pro popis struktury datových modelů obsažených v těchto souborech.
IEC61950-7-1	Základní komunikační struktura pro podřízené stanice a napájecí zařízení: Zásady a modely.	Definice způsobu dosažení interoperability jednotlivých zařízení standardizací základní komunikační struktury na základě přesné specifikace modelů jednotlivých zařízení.
IEC61850-7-2	Základní komunikační struktura pro podřízené stanice a napájecí zařízení: Abstraktní rozhraní pro komunikační služby ACSI.	Definice komunikačního rozhraní mezi klientem a vzdáleným serverem a rozhraní pro přenos časově kritických zpráv a pro přenos souborů vzorkovacích hodnot.
IEC61850-7-3	Základní komunikační struktura pro podřízené stanice a napájecí zařízení: Obecné třídy dat	Definice tříd dat (stavy zařízení atd.), určení jednotného datového formátu a atributů.
IEC61850-7-4	Základní komunikační struktura pro podřízené stanice a napájecí zařízení: Třídy kompatibilních logických uzlů a dat.	Definice jednotných názvů logických uzlů reprezentující jednotlivé IED a datových tříd pro komunikaci.

Části IEC61850-1 až IEC61850-4 obsahují formální nadhled na tento standard, zatímco části IEC61850-8-1 až IEC61850-10 pojednávají o mapování do MMS a ISO/IEC 8802-3 a předpisy o testování.[1]



### 3.1.2 Architektura rozvodny

Typická architektura rozvodny je na Obrázku 1. Síť rozvodny je připojena do venkovní sítě přes zabezpečenou bránu. Operátor ve vzdáleném řídicím centru může použít abstraktní rozhraní komunikační služby (ACSI), definované ve standardu IEC61850-7-2 pro dotazování a řízení zařízení na rozvodně. Médium přenosové linky mezi rozvodnou a vzdáleným řídicím centrem je realizováno jako Ethernetová síť, po které se posílají všechny ACSI dotazy/odpovědi a generické událostní zprávy (GSE – GOOSE, vysvětleno dále v textu). Mezi jednotlivými IED jednotlivými IED se používá taktéž ethernet s vysokou přenosovou rychlostí.

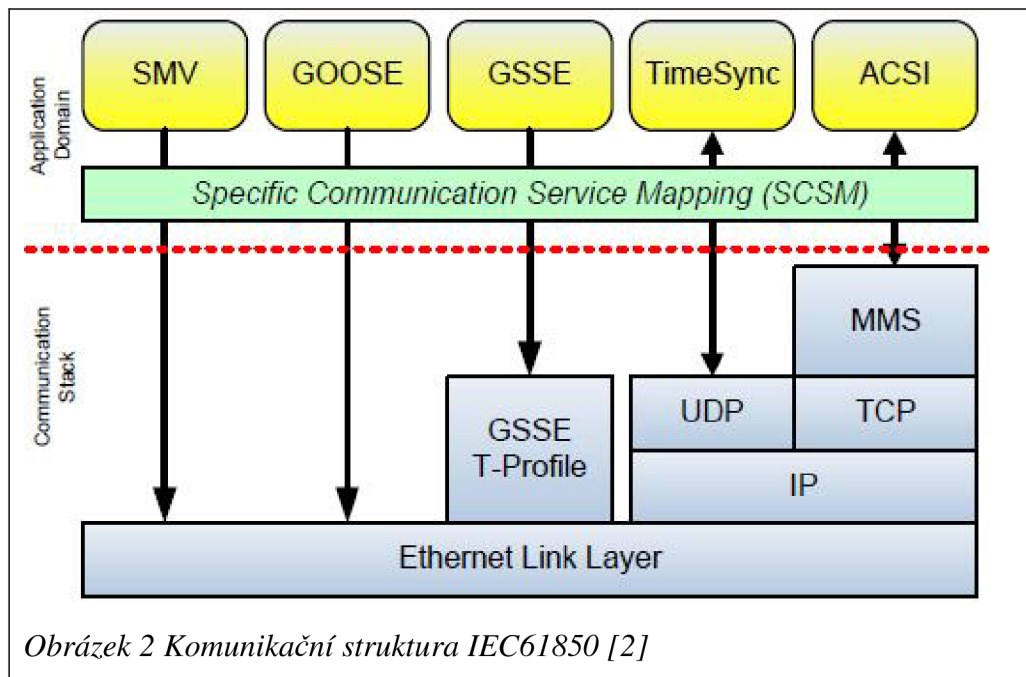


Obrázek 1- Příklad architektury rozvodny [2]

ACSI dotazy/odpovědi, GSE zprávy a vzorkované analogové hodnoty jsou třemi základními typy dat, které jsou v síti přenášeny. V rámci úrovně rozvodny se vzájemné působení rozpadá na další tři kategorie: získávání/nastavení dat, monitoring/reporting dat a záznam jednotlivých událostí. V IEC61850 standardu jsou všechny kontrolní a informační aktivity směrem k fyzickému zařízení modelovány jako získávání a nastavování hodnot konkrétních datových atributů, zatímco monitoring a reporting dat slouží jako efektivní možnost sledování statusu systému, takže jednotlivé příkazy mohou být zadávány jako časově závislé.

Pro realizaci výše zmíněných kategorií, standard IEC61850 definuje relativně komplikovanou komunikační strukturu, viz Obrázek 2. Celkem je definováno pět komunikačních profilů:

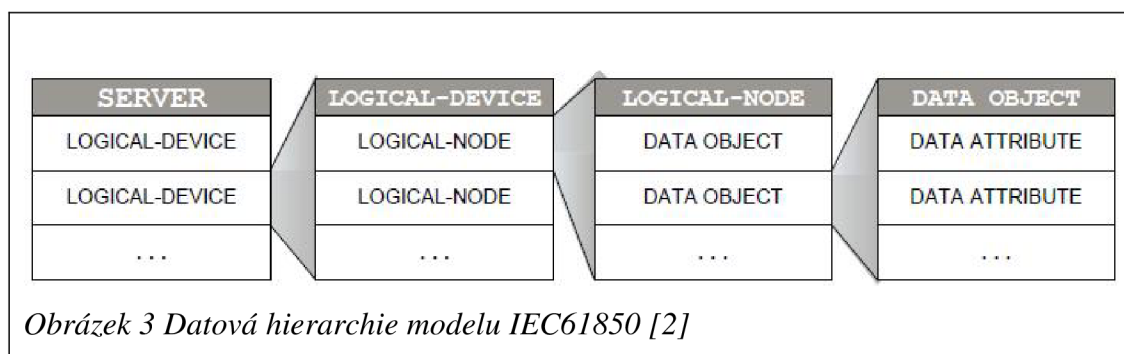
- Profil rozhraní abstraktní komunikační služby ACSI
- Profily genericky objektově orientovaných událostí GOOSE a GSSE
- Profil vzorkovaných měřených analogových hodnot SMV a profil časové synchronizace



ACSI zajišťuje komunikaci typu klient-server mezi aplikacemi a servery. GOOSE představuje rychlou možnost výměny dat na úrovni rozvodny. Vzorkované změřené analogové hodnoty zajišťují efektivní způsob výměny dat po procesní lince.[2]

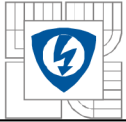
### 3.1.3 Datový model IEC61850

Datový model standardu IEC61850 je organizován hierarchicky a je vyobrazen na obr 3. Na nejvyšším místě struktury se nachází server, který slouží jako spojovací bod mezi fyzickými zařízeními a logickými objekty. Instance serveru je v podstatě program běžící v IED, který sdílí stejný význam s dalšími servery jako např. FTP server, atd. Každý server má jeden nebo více přístupových bodů, přes které se připojuje klient pro přístup k datům nebo spuštění služby na serveru.



Server hostuje několik souborů nebo logických zařízení. Klient může editovat soubory na serveru, což v praxi znamená nahrávání a stahování konfigurace IED. Logické zařízení reprezentuje zařízení fyzické. Jedná se o skupinu logických uzlů, které na datové bázi reprezentují funkčnost samotného zařízení.

Funkce, podporované IED, jsou koncepčně reprezentovány stavebními bloky nazvanými logickými uzly. V části standardu IEC61850-7-4 je předdefinován soubor jejich názvů. Krom obvyklých logických uzlů funkcí, standard dále požaduje, aby každé logické zařízení mělo dva

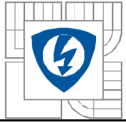


specifické uzly: nulový logický uzel (LN0) a LPHD, který odpovídá konkrétnímu logickému zařízení.

Ve standardu IEC61850 je celý systém rozvodny modelován jako distribuční systém, obsahující soubor logických uzlů, které na sebe vzájemně působí a jsou spojeny pomocí logických zapojení – TCP, UDP, nebo přímé ethernetové spojení.

Výměna dat mezi logickými uzly je modelována pomocí datových objektů. Jeden logický uzel obvykle obsahuje několik datových objektů. Každý datový objekt je instancí datové třídy a má společný datový typ. Podobně jako u objektově orientovaného programování, datové objekty obsahují spoustu datových atributů, které jsou instancemi datových atributů příslušné společné datové třídy. Typy datových atributů mohou být buď jednoduché, nebo složené.

Kromě datových objektů, IEC61850 standard poskytuje koncept datových setů jako další způsob řízení a výměny skupin datových atributů. Uvnitř data setů můžou být datové objekty nebo datové atributy. Obsah data setů pochází (nikoliv nutně) ze stejného logického uzlu nebo stejného datového objektu, tudíž máme zajištěnou vysokou flexibilitu řízení dat. Data sety jsou rozřazeny na dočasné a trvalé. Trvalé data sety jsou hostovány pomocí logických uzlů a k jejich smazání dojde pouze na konkrétní uživatelskou žádost; dočasné data sety vznikají na základě exkluzivních spojení, po zániku spojení jsou dočasné data sety automaticky mazány.



### 3.1.3.1 Servisní model

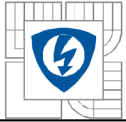
Služby zajišťované ACSI zahrnuje dotazování objektů, získávání/nastavování hodnot dat, kontrola systémových objektů, záznam a report změn, a další služby jako nahrávání a stahování konfigurací do IED. Následující tabulka představuje seznam ACSI služeb definovaných ve standardu IEC61850:

Tabulka 3-2 ACSI služby - příklady

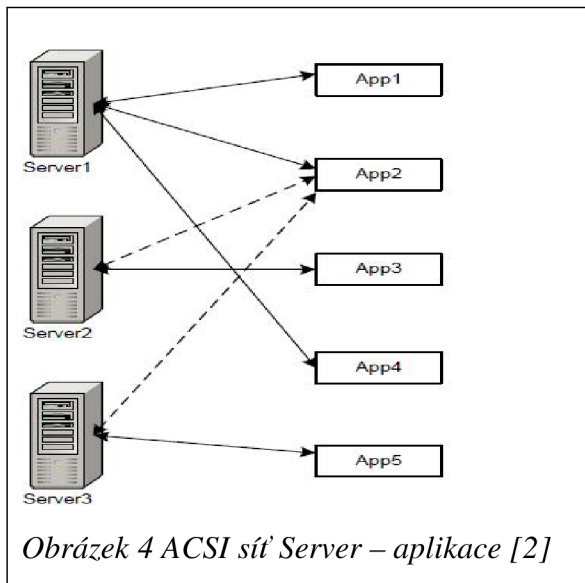
<p><b>SERVER:</b></p> <p>GetServerDirectory</p> <p><b>ASSOCIATION:</b></p> <p>Associate</p> <p>Abort</p> <p>Release</p> <p><b>LOGICAL-DEVICE:</b></p> <p>GetLogicalDeviceDirectory</p> <p><b>LOGICAL-NODE:</b></p> <p>GetLogicalNodeDirectory</p> <p>GetAllDataValues</p> <p><b>DATA-SET:</b></p> <p>GetDataValues</p> <p>SetDataValues</p> <p>GetDataDirectory</p> <p>GetDataDefiniton</p>	<p><b>GOOSE:</b></p> <p>SendGOOSEMessage</p> <p>GetGoReference</p> <p>GetGOOSEElementNumber</p> <p>GetGoCBValues</p> <p>SetGoCBValues</p> <p><b>GSSE:</b></p> <p>SendGSSEMessage</p> <p>GetGsReference</p> <p>GetGSSEDataOffset</p> <p>GetGsCbValues</p> <p>SetGsCBValues</p> <p><b>Control:</b></p> <p>Select</p> <p>SelectWithValue</p> <p>Cancel</p>
---	---

Všechny služby ACSI jsou požadovány aplikacemi a zodpovídány servery. Předtím, než aplikace pošle požadavek na server, musí být ustanoveno validní spojení dvou stran se serverem (TPAA). TPAA zajišťuje virtuální pohled na spojení mezi serverem a aplikací. Typická procedura interakce mezi aplikací *A* a serverem *S* postupuje podle následujícího algoritmu:

- 1) *A* ustanoví TCP připojení se *S*
- 2) Připojení na *S* pomocí požadavku *Associate*, zajišťující ověření relativních informací jako parametrů
- 3) *S* ověří informace poskytnuté od *A* a vytváří TPAA objekt, který zařizuje virtuální pohled *S* na *A*
- 4) *A* požaduje ACSI služby, zatímco *S* zpracovává dotazy a odpovědi podle standardů definovaných v IEC61850
- 5) *A* vybavuje *Release* požadavek směrem k *S*
- 6) *S* získává TPAA o *A* a ukončuje spojení



Virtuální pohled serveru zajištění pomocí TPAA posiluje kontrolu přístupových bodů na server. Tento virtuální pohled definuje, které objekty na serveru jsou viditelné a přístupné aplikacím, a které typy služeb těchto objektů jsou přístupné z aplikací. Koncept virtuálního pohledu je velmi flexibilní a standard IEC61850 nevyžaduje žádné restriky na kontrolu přístupových bodů. Princip přístupu na kontrolní body je stejný jako u UNIX systémů. Rozhraní ACSI definuje objektově orientované rozhraní, pro aplikace ale nepožaduje, aby samotná implementace rozhraní byla objektově orientována.[3]



### 3.1.3.2 Generic substation event (GSE)

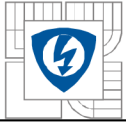
Kromě reportingu, IEC61850 standard definuje GSE jako další význam pro aplikace, které monitorují změny datových objektů a atributů. GSE je navrženo pro rychlý přenos oznámení o změně systémových objektů. Rozeznáváme dva typy GSE: „Generic object-oriented substation events“ (GOOSE) a „Generic substation state even“ (GSSE). GOOSE se používá na výměnu širokého spektra společných dat, zatímco GSSE pro doručování stavových informací.

Vzhledem k tomu, že schopnost přenosu zpráv v reálném čase je pro GSE kritická, formát zpráv a komunikační fronta pro GSE přenos je odlišná například od formátu zpráv pro reporting. GSE zprávy jsou přenášeny v binárním formátu, který poskytuje krátké tělo zpráv a vysokou rychlost kódování a dekódování. Místo použití TCP nebo UDP pro transport, GSSE využívá svoji vlastní transportní vrstvu, zatímco GOOSE zprávy jsou posílány přímo Ethernet sítí.

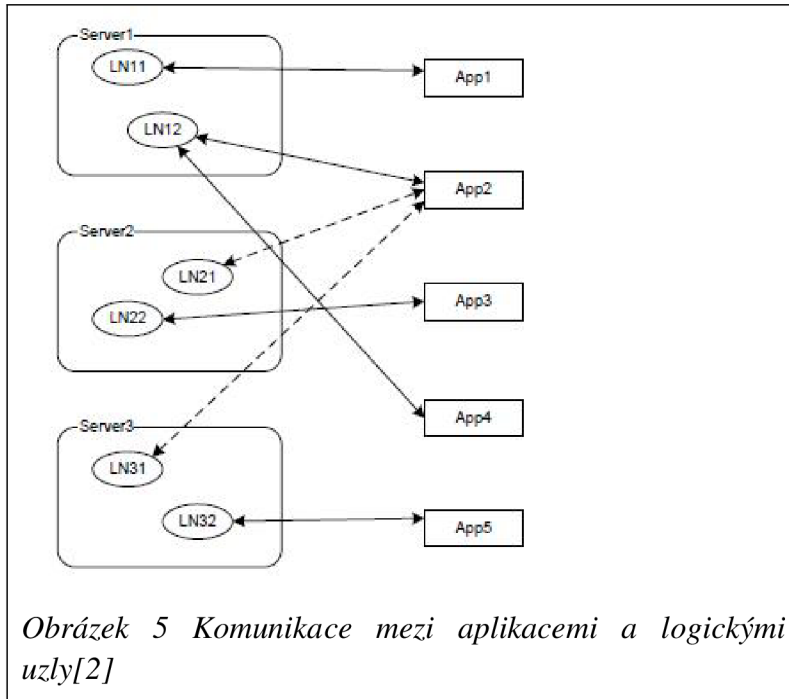
GSE pracuje na mechanismu vydavatel/odběratel pro přenos zpráv. Tento mechanismus je implementován pomocí funkce Ethernetu – více přenosů záraz. Vydavatel posílá GSE zprávu na specifickou MAC adresu a odběratel vybírá zprávy odeslané na tuto adresu, po té je předává na lokální zásobník pro lokální aplikace ke zpracování.

### 3.1.4 Komunikační síť

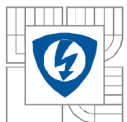
Standard IEC61850 definuje distribuční systém obsahující logické uzly, které spolu vzájemně spolupracují a jsou propojeny logickými spojeními. Aby tento systém pracoval inteligentně a správně, je zapotřebí přítomnost chytrých komponent v síti. Nabízí se tedy otázka, jak zajistit integraci aplikací do sítě logických uzlů. Můžeme se pokusit tuto otázku zodpovědět pomocí ACSI server-aplikace sítě. Obrázek 4 zobrazuje takovou server-aplikace síť.



Samozřejmě, každý server může obsluhovat více aplikací, a obráceně každá aplikace může obsluhovat více serverů. Tečkované čáry na obrázku 4 představují komunikační kanály pro reporting a GSE zprávy. GSE zprávy jsou posílány z jedné IED do další, a tedy dvojice vydavatel-odběratel nesmí sídlit v jedné a té samé IED – IED neposílá zprávy sama sobě. Obrázek 5 objasňuje, jak komunikace mezi aplikacemi a logickými uzly probíhá. Můžeme jasně vidět, že logická spojení mezi logickými uzly jsou vlastně mixem několika spojení: když logický uzel posílá zprávu jinému logickému uzlu, virtuálně se posílá report/GSE zpráva relevantním aplikacím. Po zpracování reportu/GSE zprávy, aplikace vydává relevantní požadavek dalšímu logickému uzlu a naopak. Tedy můžeme odvodit aplikační logiku obrázkem 5. [2]





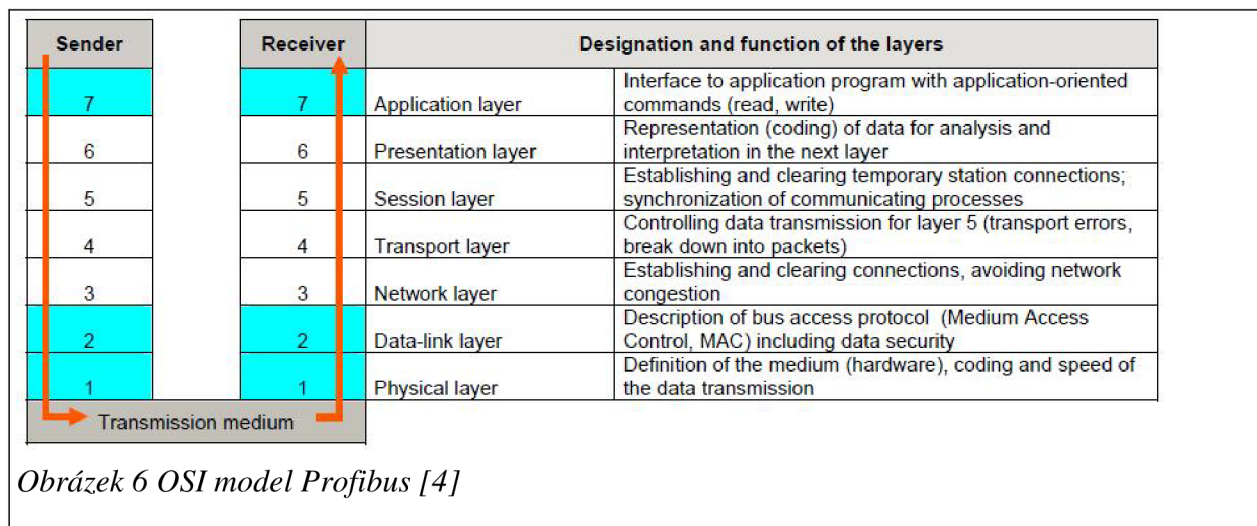


## 3.2 PROFIBUS

### 3.2.1 Popis systému PROFIBUS

PROFIBUS je otevřený digitální komunikační systém, používaný v široké škále aplikací, hlavně v procesní automatizaci a výrobních provozovnách. Tento komunikační standard je zakotven v mezinárodních standardech IEC61158 a IEC61784. Historicky jako první komplexní řešení byl uveden do provozu komunikační protokol PROFIBUS FMS (*Fieldbus Message Specification*). Dalším krokem ve vývoji se stal jednodušeji konfigurovatelný a rychlejší PROFIBUS DP (*Decentralized Periphery*), který je dnes dostupný ve třech funkčních protokolech: DP-V0, DP-V1 a DP-V2.

Modulární design PROFIBUS technologie umožňuje pokrýt velké spektrum komunikačních technologií, a každým rokem se zvyšuje počet elektráren a výrobních provozů, kde je PROFIBUS využíván. Z technologického hlediska, nejnižší stupeň (komunikace) systémové struktury PROFIBUS je založen na referenčním modelu ISO/OSI.

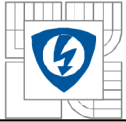


Obrázek 6 OSI model Profibus [4]

Tento model nám umožňuje abstraktní popis komunikačních kroků bez znalosti konkrétní aplikace. Výše uvedený obrázek ukazuje implementaci OSI modelu v PROFIBUS (stupně 1, 2 a 7) s popisem jednotlivých stupňů modelu. Specifikace, které byly odsouhlaseny výrobcem a uživateli konkrétních zařízení, jsou seřazeny nad stupněm 7 v aplikačních profilech I a II.

Z uživatelského pohledu se PROFIBUS představuje ve formě odlišných typických aplikací, které nejsou pevně specifikovány, ale byly prověřeny léty praxe. Každá aplikace představuje výsledek kombinace přenosové technologie, komunikačního protokolu a profilu samotné aplikace. Následující příklady popisují nejznámější verze PROFIBUS:

- **PROFIBUS DP** je hlavním představitelem pro tovární automatizaci. Používá přenos pomocí technologie RS485, jeden z funkčních protokolů a jeden nebo více aplikačních profilů typických pro tovární automatizace, například *Ident Systems* nebo *Robots/NC*.
- **PROFIBUS PA** je hlavním představitelem v procesní automatizaci, typicky s MBP-IS přenosovou technologií, komunikačním protokolem DP-V1 a s aplikačním profilem *PA Devices*.



- **Motion Control with PROFIBUS** je hlavní představitel v pro oblast řízení pohybu s použitím přenosové technologie RS485, komunikačním protokolem DP-V2 a aplikačním profilem *PROFIdrive*.
- **PROFIsafe** se používá pro bezpečnostní aplikace, jako přenosová technologie se používá RS485 nebo MBP-IS, jeden z protokolů DP a aplikační profil *PROFIsafe*.

### 3.2.2 PROFIBUS přenos a komunikace

#### 3.2.2.1 Přenosové technologie

V referenčním modelu ISO/OSI, 1. stupeň definuje metodu „fyzického“ přenosu dat, tzn. mechanicky a elektricky. Toto zahrnuje i typ kódování. PROFIBUS nabízí různé verze 1. stupně OSI modelu jako přenosové technologie. Všechny verze jsou založeny na mezinárodních standardech, a jsou zakotveny v normách IEC61158 a IEC61784. Detaily popisuje následující tabulka:

Tabulka 3-2 Přenosová rychlost a dosah pro kabel typu A [4]

Přenosová rychlost [kBit/s]	Dosah segmentu [m]
9.6; 19.2; 45.45; 93.75	1200
187.5	1000
500	400
1500	200
3000; 6000; 12000	100

Uvedené hodnoty odpovídají kabelu typu A s následující specifikací:

Impedance: 135 až 165  $\Omega$

Kapacita  $\leq 30$  pF/m

Smyčkový odpor  $\leq 110$   $\Omega$ /jm

Průměr drátu  $> 0.64$  mm


Plocha jádra  $> 0.34$  mm<sup>2</sup>

#### Technologie RS485

Přenosová technologie RS485 je jednoduchá a cenově přijatelná, primárně používaná v případech, kde jsou vysoké nároky na rychlost přenosu. Jedná se o stíněnou kroucenou dvojlinku s jedním párem vodičů.

Další výhodou této technologie jsou prakticky nulové vstupní znalosti pro instalaci samotného kabelu. Struktura přenosové linky umožňuje přidávání či odebrání stanic, nebo uvádění systému do provozu krok za krokem, bez ovlivňování dalších stanic, které jsou již v provozu. Prakticky využitelnou možností je také použití RS485-IS v oblastech s nebezpečím výbuchu.

Mezi základní charakteristiky této technologie patří rozsah přenosové rychlosti od 9.2 až do 12 Mbit/s. Na jedné přenosové lince logicky musí být rychlost přenosu všude stejná. Lze připojit

	<b>ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY</b> Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Vysoké učení technické v Brně	25
---	---	----

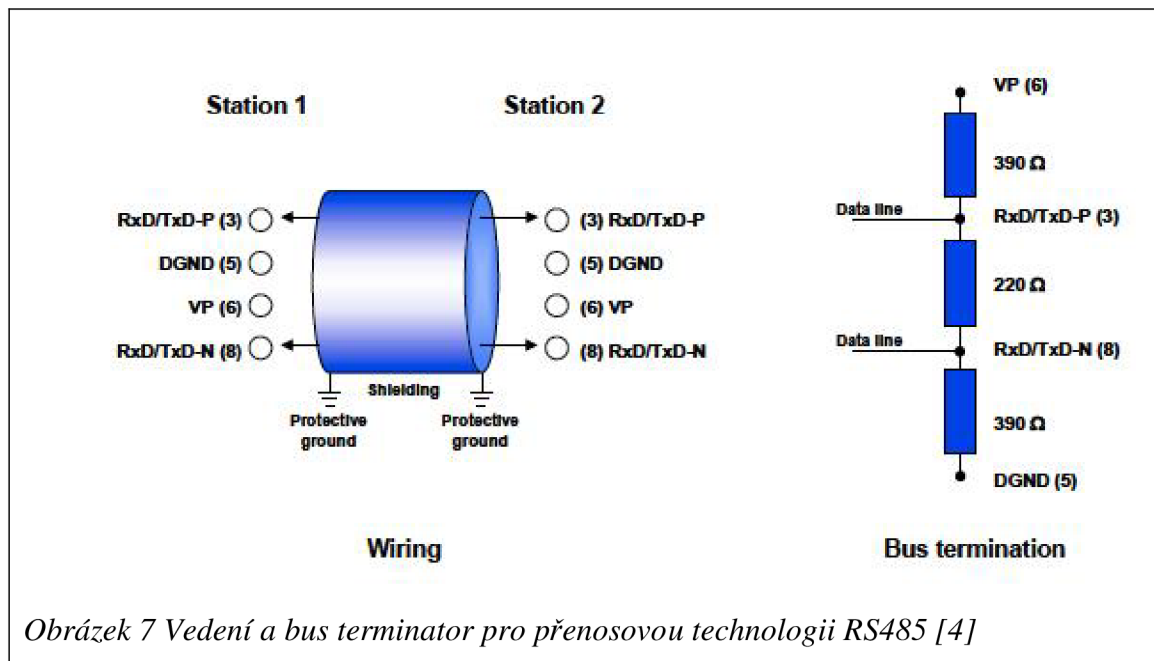
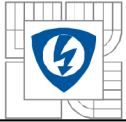
až 32 stanic, fyzická délka linky závisí na rychlosti přenosu, viz *Tabulka 3-2Přenosová rychlost a dosah pro kabel typu A*. Další vlastnosti jsou shrnuty v následující tabulce:

*Tabulka 3-3 Přenosové technologie v PROFIBUS [4]*

Typ přenosové technologie	MBP	RS485	RS485-IS	Optické vlákno
<b>Přenos dat</b>	Digitální, bitově synchronní, kódování „Manchester“	Digitální, odstupňované signály dle RS485, NRZ	Digitální, odstupňované signály dle RS485, NRZ	Optický, digitální, NRZ
<b>Přenosová rychlost</b>	31.25 KBit/s	9.6 až 12000 KBit/s	9.6 až 1500 KBit/s	9.6 až 12000 KBit/s
<b>Typ kabelu</b>	Stíněný, kroucená měděná dvojlinka	Stíněný, kroucená měděná dvojlinka, kabel typ A	Stíněný, kroucená 4-linka, kabel typ A	Jednouzlové/Víc e-uzlové skleněné vlákno, PCF, plastový
<b>Typ chránění</b>	Vnitřní (EEx ia/ib)	Žádné	Vnitřní (EEx ia/ib)	Žádné
<b>Topologie</b>	Liniová, stromová	Liniová	Liniová	Hvězda a kruhová typicky, možnost liniové
<b>Počet připojitelných stanic</b>	Až 32 na segment, max 126 v síti	Až 32 na segment bez opakovače, max 126 v síti s opakovačem	Až 32 na segment, max 126 v síti s opakovačem	Až 126 v síti
<b>Počet opakovačů signálu</b>	Max 4 kusy	Max 9 kusů s obnovou signálu	Max 9 kusů s obnovou signálu	Neomezeně s obnovou signálu

Naráz lze do jednoho segmentu připojit až 32 stanic (Master nebo Slave). Začátek a konec každého segmentu je opatřený aktivním *bus terminator*. Na obou koncích segmentu má *bus terminator* permanentní napájení, čímž je zajištěn stálý chod bez výpadků.

Na trhu je velké množství typu kabelů (typové označení A – D) pro různé typy aplikací. Nejčastěji používaným typem je typ A, jehož vlastnosti jsou popsány v *Tabulka 3-2Přenosová rychlost a dosah pro kabel typu A*.

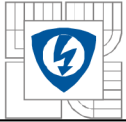


### 3.2.2.2 Komunikační protokol DP

Komunikační protokol DP byl navržen pro rychlý přenos dat na základní úrovni. Tuto úroveň zastupují programovatelné kontrolory jako PLC automaty nebo procesní kontrolní systémy, komunikující s distribučními zařízeními jako I/O, pohony, převodníky nebo analyzačními zařízeními přes rychlé sériové zapojení. Datový přenos je primárně cyklický. Základní funkce protokolu byly specifikovány v první verzi DP-V0. S nárůstem speciálních požadavků a rozšiřujícím se polem působnosti byly vydány další verze, takže DP je nyní k dispozici ve třech verzích: DP-V0, DP-V1 a DP-V2. Když každá má svoje vlastní specifika, viz následující tabulka:

Tabulka 3-4 Verze DP protokolu PROFIBUS

DP-V0	DP-V1	DP-V2
Cyklický datový přenos mezi PLC a Slave zařízeními	Acyklický přenos dat mezi PC nebo PLC a Slave zařízeními	Datový přenos <i>publisher/subscriber</i> , Isochronní mód
<b>Rozšíření:</b>	<b>Rozšíření:</b>	<b>Rozšíření:</b>
GSD Konfigurace	Integrace do engineeringu: EDD a FDT	Hodinová synchronizace & časové stopy
Diagnostika	Přenosný PLC software funkčních bloků (dle IEC 61131-3)	HARTonDP
	PROFIsafe – ochrana proti selhání systému	Upload/Download (segmentace)
	Alarmy	Redundance



Klíčové vlastnosti těchto tří verzí jsou následující:

- **DP-V0** zajišťuje základní funkcionalitu DP, včetně cyklického přenosu dat stejně jako diagnostiku stanice, modulu a přenosového kanálu.
- **DP-V1** obsahuje vylepšené zařízení napříč potřebám procesní automatizace, konkrétně acyklický přenos dat, operativu, vizualizace a obstarávání alarmových hlášení od inteligentních zařízení, paralelně k cyklické komunikace uživatele. Díky tomu lze online přístup ke stanicím použít engineeringových nástrojů. Navíc, DP-V1 definuje chybové hlášení, příklady pro různé typy alarmů: status alarmy, update alarm,...
- **DP-V2** obsahuje více vylepšení a je vybaven primárně pro potřeby technologie pohonů. Díky dodatečným funkcím, jako například isochronní mód komunikace (*slave-to-slave, data eXchange broadcast*) může být DP-V2 implementován jako řídicí linka pro kontrolu rychle pohybujících se pohonů v axiálních směrech.

Různé verze protokolu DP jsou specifikovány detailně ve standardu IEC61158.

Následující kapitoly vysvětlují klíčové charakteristiky jednotlivých verzí.

### Základní funkce verze DP-V0

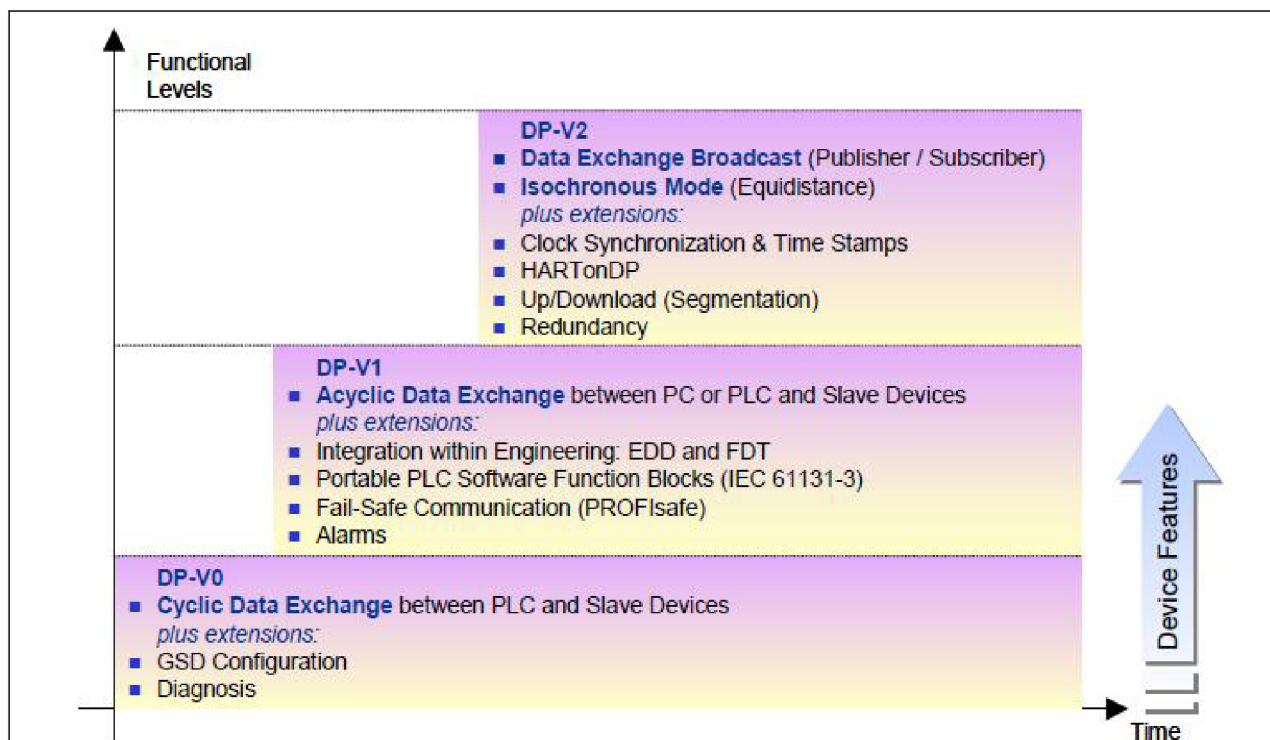
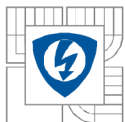
Základní regulátor (Master):

- čte vstupní informace od slave zařízení cyklicky
- zapisuje výstupní informace do slave zařízení cyklicky

Jeden časový cyklus linky by měl být kratší než časový cyklus programu centrálního automatizačního systému, tedy přibližně 10 ms. Na druhou stranu rychlý datový výkon samotný není dostatečný pro úspěšnou implementaci systému linky. Jednoduché ovládání, dobré diagnostické schopnosti a důraz na přenosovou technologii jsou klíčovými faktory. DP poskytuje optimální kombinaci těchto charakteristik.

**Přenosová rychlost** – DP potřebuje přibližně 1 ms pro přenos 512 bitů vstupu a výstupu při rychlosti 12 Mbit/s, data mohou být distribuována až pro 32 jednotlivých stanic. Obrázek 8 ukazuje typické přenosové časy DP v závislosti na počtu stanic a přenosové rychlosti. DP přenáší vstupní a výstupní data v jednom cyklu zprávy.

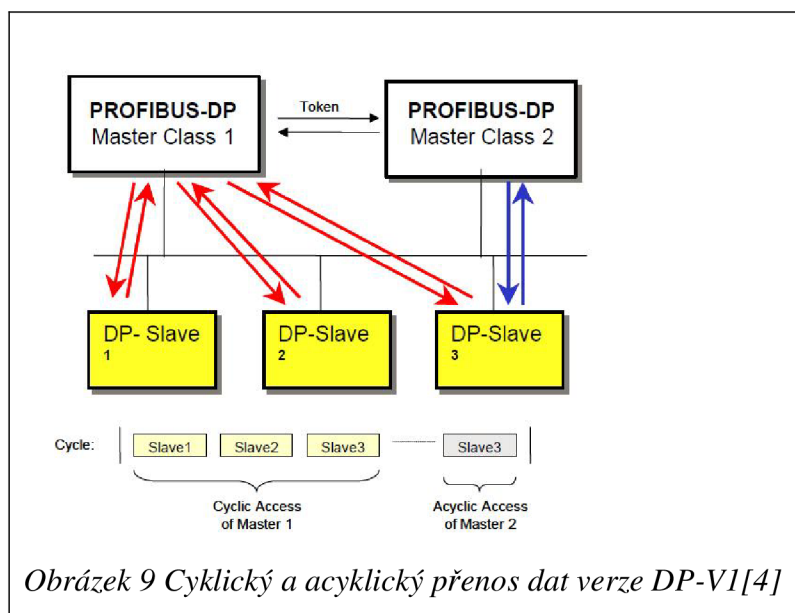
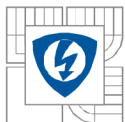
**Diagnostické funkce** – Pochopitelná funkce diagnostiky DP umožňuje rychlou lokalizaci chyb. Diagnostické zprávy jsou přenášeny přes linku a sbírány v master-u. Diagnostické zprávy mohou pocházet buď přímo od zařízení (např. „Přehřívání“, „Podpětí“), od I/O modulu nebo bitového kanálu (např. „Zkrat na výstupu“).



Obrázek 8 Funkcionalita verzí protokolu PROFIBUS-DP[4]

### Verze DP-V1

Klíčovou funkcí verze DP-V1 je funkce acyklického přenosu dat. Toto formuje požadavek na parametrizaci a kalibraci zařízení v provozu po lince. Acyklický přenos dat je vykonáván paralelně k cyklické komunikaci, ale s nižší prioritou. Obrázek č. 9 ukazuje princip komunikace. Master třídy 1 má „token“ a je schopen posílat zprávy nebo je přijímat od Slave 1, pak od Slave 2, atd. během fixní sekvence, dokud se nedostane k poslednímu Slave zařízení (kanál MS0), po té předá „token“ k Master třídě 2 – ten může využít zbývající čas („gap“) cyklu programu k tomu, aby se acyklicky spojil s jakýmkoliv slave zařízením a vyměnil si s ním data (kanál MS2). Na konci stávajícího časového cyklu vrací „token“ zpět k Master třídě 1. Acyklická výměna záznamů může trvat několik cyklů nebo jejich „gaps“, na konci Master třída 2 použije „gap“ na vyčištění spojení. Acyklickou výměnu dat může stejně jako Master třída 2 provádět i Master třída 1 se Slave zařízeními (MS1 kanál).



## Verze DP-V2

**Komunikace Slave-to-Slave (DXB)** – tato funkce umožňuje přímou a časově úspornou komunikaci mezi Slave zařízeními použitím *broadcast* komunikace bez okliky přes Master zařízení. V tomto případě Slave zařízení se chová jako *publisher*, tedy Slave odpověď nejde přes koordinující Master zařízení, ale přímo k dalším Slave zařízení vložených v sekvenci, označenými jako *subscribers*. Díky tomu Slave může číst data od ostatních Slave zařízení přímo a používat je jako svůj vlastní výstup, což snižuje časové zpoždění na lince o 90 %.

**Isochronní mód** – Tato funkce umožňuje řídicí časovou synchronizaci v Master a Slave zařízeních nezávisle na zatížení linky. Funkce dovoluje vysoce precizní poziční procesy s časovou odchylkou menší než jedna mikrosekunda. Všechny spolupracující zařízení cyklují a jsou synchronizovány Master linkou přes globální *broadcast* zprávu. Speciální znak (posloupné čísla) umožňují sledovat synchronizaci.

**Časová kontrola** – tato funkce synchronizuje všechny stanice do jednoho systému s odchylkou menší než jedna milisekunda, což nám zaručuje precizní sledování událostí. Toto je užitečné v případě, že máme na hlavní přenosové lince vícero Master zařízení v síti.

**Upload a Download** – tato funkce povoluje nahrávání dat jakékoli velikosti do zařízení na operační úrovni pomocí pár příkazů, tedy například update programů v PLC kontrolorech, nebo výměna celých zařízení bez nutnosti manuálního nahrávání všech procesních příkazů.



## 3.3 MODBUS

### 3.3.1 Popis komunikačního protokolu MODBUS

MODBUS je komunikační protokol vytvořen firmou Modicon v sedmdesátých letech 20. století. Původně byl používán pro komunikaci zařízení PLC a RTU. Později byl rozvíjen pro různé aplikace a zařízení. V dnešní době je MODBUS protokol používán pro sériovou síť a ethernet.

#### 3.3.1.1 Sériová komunikace MODBUS

MODBUS je protokol fungující na principu Master – Slave, pokud je používán pro sériovou komunikaci. V případě této diplomové práce IED od firmy ABB z produktové řady Relion REM620 implementuje Slave část protokolu. V závislosti na zvoleném fyzickém připojení lze použít vícebodovou síť (*multidrop network*) nebo bod k bodu (*point-to-point*) komunikační spojení.

Při použití sériové komunikace může být v MODBUS síti pouze Master jednotka, která najednou může komunikovat pouze s jednou Slave jednotkou. Obvykle Master zařízení čte data ze Slave zařízení cyklicky. Master může také do Slave zařízení zapisovat či jim dávat příkazy. Každá Slave jednotka má svoji unikátní adresu, podle níž může Master identifikovat, se kterým zařízením komunikuje.

Sériový protokol MODBUS používá dva módy fyzického připojení: MODBUS RTU a MODBUS ACSII, oba dva jsou podporovány ABB ochranami z produktové řady Relion.

#### 3.3.1.2 TCP/IP komunikace MODBUS

MODBUS komunikace přes TCP/IP Ethernet funguje na principu klient-server. IED je v tomto případě server.

MODBUS TCP/IP spojení je ustanoveno, pokud klient otevře TCP port pro spojení se serverem, konkrétně port 502 je rezervován pro MODBUS. Pokud je požadované připojení serverem akceptováno, klient s ním může začít komunikovat.

IED můžou zpravidla akceptovat spojení souběžně s více TCP/IP klienty, i když celkový počet připojení je omezen. Je možné nakonfigurovat IED aby akceptovala připojení z předem známých klientských IP adres.

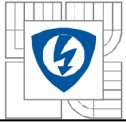
#### TCP/IP konfigurace prostředí

MODBUS protokol TCP/IP používá ethernetové rozhraní. Nastavení základních parametrů v IED REM620, jako například vlastní IP adresa IED, najdeme přes LHMI cestu *Communication-Configuration-Ethernet*.

MODBUS TCP/IP server umí přijmout maximální počet klientů, který je definovaný parametrem *MAX TCP/IP clients*:

- Rozhraní pro nastavení parametru max. počet klientů je 0...5.
- Pokud je hodnota parametru nastavena na 0, TCP/IP server není použit.
- Parametr pracuje ve shodě s parametry registrovaných TCP/IP klientů.





Když se klient X znovu připojuje, staré připojení tohoto klienta je odpojeno a je přijato nové připojení tak, aby se zabránilo udržování tzv. zombie klientů. Pokud je připojen maximální počet klientů, nová žádost o připojení se vyřizuje následovně:

- Jestliže jsou připojeni neregistrovaní klienti, ten s nejdelší periodou neaktivity je odpojen a nové připojení je přijato
- Pokud jsou připojeni pouze registrovaní klienti, nové připojení je zamítnuto

Je možné předdefinovat, který klient nebo klienti budou mít vždy garantováno připojení k Modbus TCP/IP registrováním jejich klientských IP adres. Například, pokud jsou dovolena čtyři současná připojení a tři z nich jsou registrovány, zobrazují se jako *Client connection 1...Client connection 3*. Tyto tři připojení jsou rezervovány pro určité klienty a poslední čtvrté je využitelné pro ostatní klienty

### IP adresa klienta a zapisovací práva

Pro klientskou IP adresu MODBUS umí nastavovat pět parametrů. Hodnota parametru „0.0.0.0“ značí, že klientova IP adresa není definována.

Pokud máme například čtyři dostupná TCP/IP připojení definována a jedno z nich je rezervováno pro určitého klienta X, zapíšeme IP adresu klienta X do parametru *Client IP1*. Tento klient se tedy vždy bude moci připojit k MODBUS TCP/IP serveru. IP adresy dalších klientů (2...4) mohou být nastaveny jako „0.0.0.0“

Registrace MODBUS klient ovlivňuje klientské práva na zápis a čtení MODBUS dat. *TCP write authority* parametr může být nastaven na tři různé hodnoty:

- 0 = Žádná zapisovací práva pro jakéhokoliv MODBUS TCP/IP klienta
- 1 = Zapisovací práva pouze pro registrované klienty
- 2 = Zapisovací práva pro všechny MODBUS TCP/IP klienty



### 3.4 Aplikační funkce MODBUS

Tabulka 5 Výpis části podporovaných aplikačních funkcí MODBUS[5]

Funkční kód	Název (Anglicky)	Popis
1X	<i>Read coil status</i>	Čtení statusu diskretních výstupů
2X	<i>Read digital input status</i>	Čtení statusu diskretních vstupů
3X	<i>Read holding registers</i>	Čtení obsahu výstupních registrů
4X	<i>Read input registers</i>	Čtení obsahu vstupních registrů
5X	<i>Force single coil</i>	Nastavení statusu diskretního výstupu
6X	<i>Preset single register</i>	Nastavení hodnoty zadržovacího registru
8X	<i>Diagnostics</i>	Kontrola komunikačního systému mezi MASTER a SLAVE zařízením

#### 3.4.1 Princip mapování dat v MODBUS

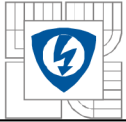
MODBUS standard definuje datové typy 0X pro *Coils* a pro čtení vstupních registrů, které používá pro řídicí operace. Protokol MODBUS dokáže ovládat široké spektrum zařízení, od PLC automatů po SCADA zařízení. Data v MODBUS jsou organizovány sekvenčně, což je výhodné vzhledem k tomu, že Master skenuje data v MODBUS, která jsou řazena blokově.

##### 3.4.1.1 Data v kontrolním směru

Všechna data v kontrolním směru jsou dostupná přes 3X a 4X paměťové oblasti. Toto zahrnuje i bitové adresy dat, která jsou také dostupná v oblastech 1X a 0X. Všechny registry jsou alokovány v paměťové oblasti 4X. MODBUS data mohou obsahovat prázdné bity nebo registry v sekvenčních datových oblastech. Tyto bity a registry jsou určeny pro budoucí rozšíření, čtení těchto dat nevyúští v žádnou MODBUS odpověď. Hodnota těchto bitů nebo registrů je vždy 0.

##### 3.4.1.2 Jednabitové datové mapování

Všechny bitové adresy dat v IED lze číst v paměťové oblasti 0X nebo 1X, odkazovaný bit má stejnou adresu bez ohledu na to, v jaké části paměti nebo registru se nacházíme. Navíc tento datový bit lze číst i z 3X nebo 4X oblasti paměti, kde jsou komprimovány do 16 bitových registrů. Pokud jednabitová hodnota je alokována v paměti 0X nebo 1X bitové adrese 2893, ta samá hodnota bitu může být nalezena v 3X nebo 4X registru 180 ( $2893 \text{ DIV } 16$ ) na bitu 12 ( $2893 \text{ MOD } 16$ ). Adresovací vzorec je evidentní, pokud jsou adresovací čísla vyjádřena v hexadecimálním formátu:  $2893 = 0xb4D$ ,  $180 = 0xBc$ ,  $13 = 0xD$ .



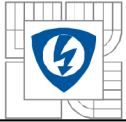
### 3.4.1.3 Data v řídicím směru

IED řídicí, nastavovací a potvrzovací body jsou mapovány do MODBUS 0X dat (*Coils*). *Coils* mohou být obsluhovány jedna po druhé. Některé řídicí bity jsou komprimovány do 4X řídicího registru. 4X řídicí struktura obsahuje heslo, které může být vyžadováno před začátkem řídicích operací.

### 3.4.1.4 Měřicí registry

MODBUS měřené veličiny jsou alokovány v MODBUS části registrů. Měřené veličiny lze číst z obou paměťových oblastí 3X a 4X ze stejné adresy registru. MODBUS měřené veličiny jsou odvozeny z vnitřní IED struktury, která má původ ve standardu IEC61850. MODBUS hodnoty registru jsou vždy ve formátu *Integer*. Vzhledem k tomu, že vnitřní IEC61850 hodnoty jsou často decimální hodnoty, Modbus je musí na formát *Integer* převádět. Tudíž vždy existuje *scale factor* a offsetový parametr pro každou hodnotu Modbus registru. Rovnice pro výpočet hodnoty MODBUS registru:  $Modbus\ value = (IEC61850\ Value \times scaleFactor) + Offset$

V některých případech mohou být měřené veličiny alokovány ve dvou registrech po sobě, dohromady tvoří jednu 32 bitovou *Integer* hodnotu. 32 bitová hodnota *high word* část, tvořící vrchních 16 bitů a část *low word*, kterou tvoří zbylých 16 bitů, se nachází vždy v následujícím registru.[5]



## 4 POPIS POUŽITÝCH ZAŘÍZENÍ

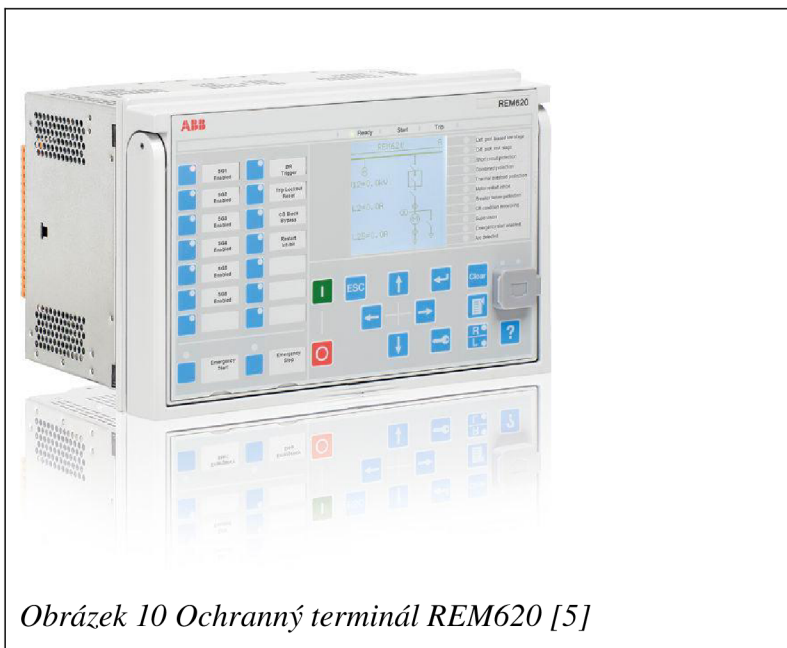
### 4.1 Ochranný terminál REM620

#### 4.1.1 Popis ochranného terminálu REM620

Ochranný terminál REM620 byl navržen primárně ke chránění ve výrobním a procesním průmyslu pro středně velké a velké asynchronní motory, u kterých je vyžadována diferenciální ochranná funkce. Typicky je tato IED pro motory použita v kombinaci s vypínačem přívodu elektrické energie. REM620 může být používána v rozváděčích s jedním nebo dvojitým systémem hlavních přípojníc, tedy s jedním nebo dvěma vypínači a velkým množstvím přepínacích zařízení.

REM620 nabízí rozsáhlé možnosti při přípravě logické konfigurace a dokáže uspokojit potřeby i těch nejnáročnějších projektů. Pro přípravu konfigurace se pro všechny ochrany z produktové řady Relion používá software PCM600, který obsahuje všechny potřebné nástroje pro mapování binárních vstupů a výstupů, parametrizací ochranných funkce a v neposlední řadě také nástroje pro konfiguraci a testování datové komunikace mezi ochranami. Při vybavení RTD/mA modulem lze konfigurovat ochranné funkce jako např. *Thermal Overload* a tyto data poté posílat přes GOOSE zprávy.

Prostřednictvím displeje lze ovládat primární prvky, jako motorově ovládaný vozík vypínače či vypínač samotný, zobrazovat stavové hodnoty (události, alarmy), měnit pracovní režim a nahrávání konfigurace z PC pomocí Ethernet portu. Všechny funkce (ochranné, logické, měřicí), resp. jejich názvy v menu odpovídají pravidlům definovaných ve standardu IEC61850, což zaručuje jednoznačnost a výrazně ulehčuje práci během engineeringu.



Obrázek 10 Ochranný terminál REM620 [5]

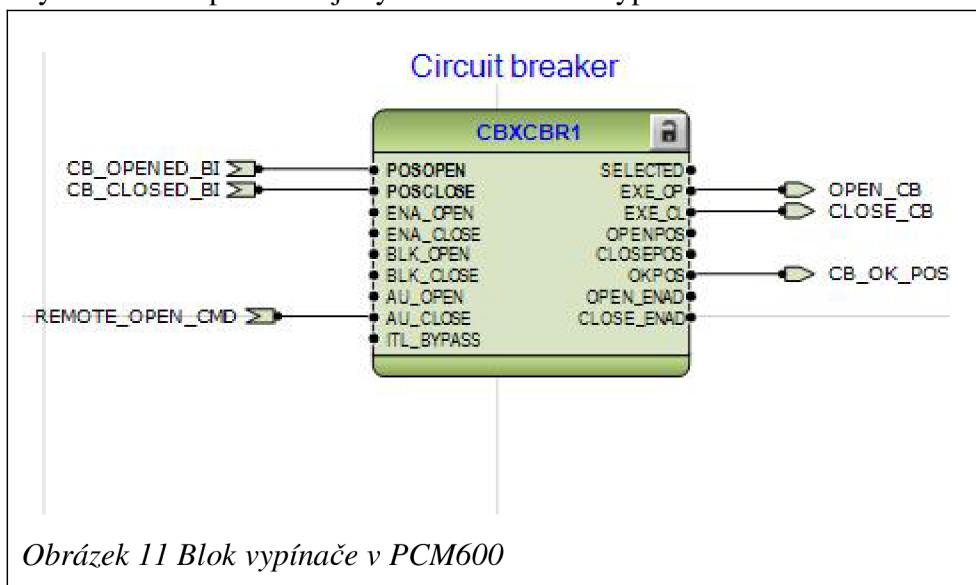


#### 4.1.1.1 Konfigurace ochrany REM620 v programu PCM600

Program PCM600 (*Protection and Control IED Management*) je používán pro různé úkony v rámci engineeringu IED. Mezi nejdůležitější patří následující:

- Organizace rozváděčů s IED ve struktuře rozvodny pomocí definice napěťové hladiny rozvodny, správa celého projektu.
- Konfigurace funkcí IED (např. ochranné a řídicí funkce) použitím nástroje *Application configuration tool*, parametrizace těchto funkcí nástrojem *Parameter setting*.
- Konfigurace GOOSE komunikace pomocí přijímání zpráv v nástroji *Application Configuration* a *Signal Matrix*.
- Generování a záznam událostí všech připojených IED pomocí nástroje *Disturbance handling*, a další.

Jakmile je konfigurace IED ukončena, výsledek je potřeba nahrát do příslušné IED. Fyzické připojení mezi PCM600 a IED je zajištěno pomocí Ethernet kabelu a portu na přední nebo zadní straně IED. Všechny výše popsané nástroje používají odkazování na funkce a jejich parametry definované ve standardu IEC61850. Na obrázku 12 vidíme příklad funkčního bloku, který v PCM600 představuje fyzické zařízení – vypínač.



#### 4.1.1.2 IED REM620 a standard IEC 61850

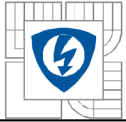
V nástroji *Application Configuration* jsou definovány všechny dostupné řídicí, měřicí a ochranné funkce, které jsou v dané verzi IED dostupné. Tyto funkce jsou graficky zobrazeny jako funkční bloky s definovanými vstupy a výstupy a s názvy odpovídající standardu IEC61850-7. Funkční bloky jsou navzájem propojeny pomocí logických signálů a dohromady tak představují logické uzly – např. funkční blok vypínače CBXCBR1 svými vstupy a výstupy reprezentuje datové atributy logických uzlů CBXCBR1 (poloha vypínače vypnuto-zapnuto), CBCSWI1 (ovládací povely zapnout-vypnout) a CBCILO (blokády zapnutí). Pokud chceme vyčítat přes komunikaci příslušné signály těchto logických uzlů, musí být tyto signály všechny přivedeny na vstupy nebo výstupních funkčních bloků. Pokud by nebyly připojeny, nelze je přes komunikaci vyčítat.



Program PCM600 po ukončení konfigurace vygeneruje CID soubory pro jednotlivé ochrany, které se nahrávají společně s konfiguracemi přímo do IED. Tyto soubory obsahují informace o datovém modelu IEC61850. SCD soubor obsahuje všechny CID soubory, které máme vytvořeny v rámci jednoho projektu, a dále se používá pro vytvoření horizontální komunikace, testování v dalším softwaru a vertikální komunikaci s nadřazeným systémem. Následující tabulka uvádí příklady nejčastěji používaných funkčních bloků a jejich pojmenování dle standardu IEC61850:

Tabulka 6 Názvy funkčních bloků dle standardů IEC [5]

Popis	IEC 61850	IEC 60617	IEC - ANSI
Třífázová nadproudová nesměrová ochrana, okamžitá, 1. instance	PHIPTOC1	3I>>>(1)	51-1
Třífázové měření proudu, 1. instance	CMMXU1	3I(1)	3I(1)
Třífázové měření napětí	VMMXU1	3(U)	3(U)
Ovládání bloku vypínače, 2. instance	CBXCBR2	I<->O CB(2)	I<->O CB(2)
Ovládání zkratovací soupravy, 1. instance	ESXSWI1	I<->O ESC(1)	I<->O ESC(1)
Záznam chyb	FLTMSTA1	FR(1)	FR(1)



## 4.2 HMS Anybus Communicator pro PROFIBUS

### 4.2.1 Popis zařízení

Anybus komunikátor pro PROFIBUS pracuje jako brána mezi jakýmkoliv sériovým aplikačním protokolem a sítí PROFIBUS DP. Integrace průmyslových zařízení je zajištěna bez ztráty funkcionality i během obnovy nebo upgrade zařízení v síti.

Anybus komunikátor může adresovat až 31 uzlů a podporuje následující fyzické standardy:

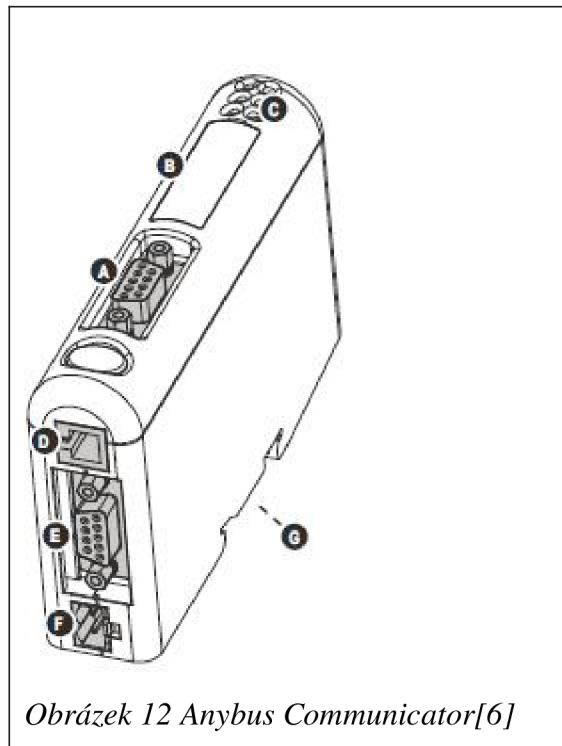
- RS-232
- RS-422
- RS-485

#### Rozhraní PROFIBUS

PROFIBUS konektivita je zajištěna patentovanou Anybus technologií, která prokázala svoje použití v řešení průmyslové komunikace používané po celém světě. *Anybus communicator* pro PROFIBUS zajišťuje následující:

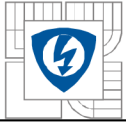
- Kompletní PROFIBUS-DP slave funkcionalitu podle standardu IEC61158.
- Podpora všech přenosových rychlostí až do 12 Mbit (automatická detekce).
- Až 244 bajtů I/O dat v obou směrech (nebo 416 bajtů celkem).
- Galvanicky oddělená elektronická přenosová linka.

#### 4.2.1.1 Fyzický popis zařízení



Obrázek 12 Anybus Communicator[6]

**A – PROFIBUS konektor, B – Konfigurační switche, C – statusové LED diody, D – PC konektor, E – Konektor pro podřízenou síť (subnetwork), F – napájecí konektor, G – Konektor pro DIN-lištu**

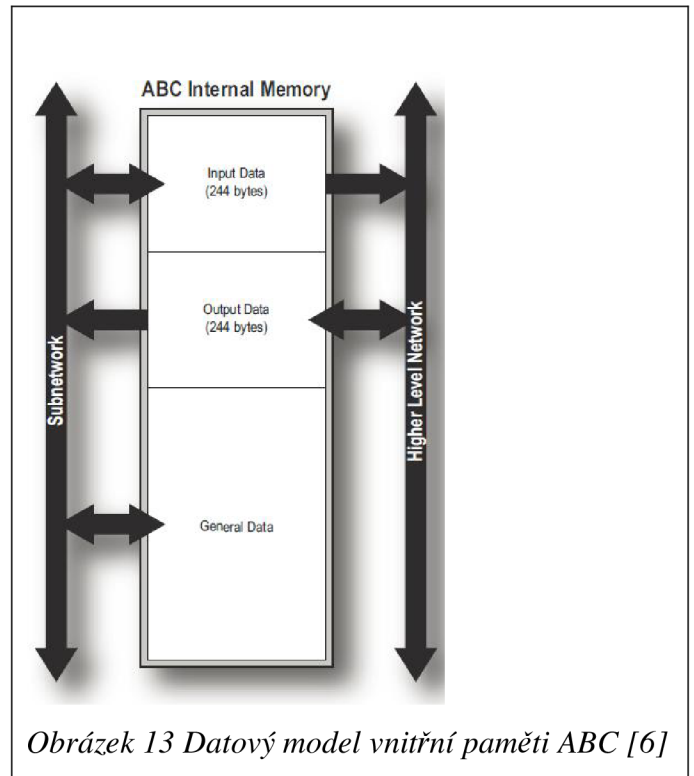


#### 4.2.2 Základní funkce

*Anybus Communicator* je navržen pro datovou výměnu mezi sériovou *subnetwork* a nadřazenou sítí. Na rozdíl od většiny *Gate* zařízení podobného typu, tento nemá pevně daný protokol pro *subnetwork* a může být tedy použit pro téměř všechny sériové komunikace.

*Gateway* může posílat sériová data cyklicky, dle změny stavu nebo na základě aktivních událostí od kontrolního systému z nadřazené sítě. Může také monitorovat jisté aspekty *subnetwork* komunikace a upozorňovat nadřazenou síť pokud se data změní.

Základní složkou *Anybus* komunikátoru je *Anybus Configuration Manager*, což je aplikace pro Windows, která se používá pro popis a konfiguraci komunikačního protokolu *subnetwork*.



Obrázek 13 Datový model vnitřní paměti ABC [6]

#### 4.2.3 Model výměny dat

Vnitřně jsou data přenášena po *subnetwork*, a data, která jsou přenášena na nadřazenou síť, jsou umístěna ve stejné paměti. To znamená, že pokud chce nadřazená síť číst data v podřazeném systému, jednoduše čte a zapisuje do částí paměti specifikované použitím *Anybus Configuration Manager*. Jedná se o stejné části paměti, do kterých může posílat data podřazený systém. Zásobník vnitřní paměti je rozdělen na tři části:

- 1. Vstupní data (až 244 bajtů)**

Tuto část může číst nadřazená síť.

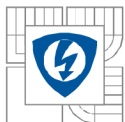
- 2. Výstupní data (až 244 bajtů)**

Zápis nadřazené sítě

- 3. Hlavní data**

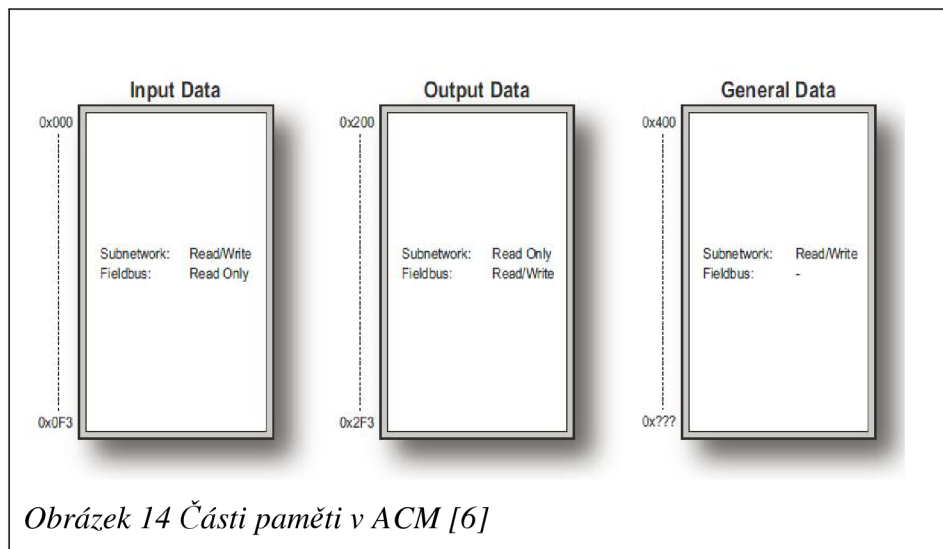
Do této částí hlavní systém nemá přístup, ale může být používána jako přenosový systém pro uzly na podřazené síti, nebo jako hlavní „náčrtník“ pro data. Aktuální velikost této datové části závisí na objem dat, který je posílán na podřazené síti. *Gateway* dokáže udržet až 1024 bajtů hlavních dat.





### 4.2.3.1 Paměťová mapa

Použitím software *Anybus Configuration Manager* konfigurujeme podřazenou síť mapováním paměťových částí (adres):



### 4.2.4 Protokol podřazené sítě (subnetwork)

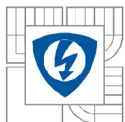
*Anybus Communicator* umožňuje tři odlišné operační módy podřazené sítě: *Master mode*, *DF1 Master Mode* a *Generic Data mode*. Pozor: *Anybus Communicator* zajišťuje pouze základní komunikaci, ne samotný protokol podřazené sítě!

- **Master Mode**  
V tomto módu se *Gateway* chová jako Master na podřazené síti, a sériová komunikace probíhá stylem dotaz-odpověď. Uzly na podsíti mohou posílat zprávy jenom pouze, jsou-li dotazovány *Gateway*.
- **Generic Data Mode**  
V tomto módu není vztah mezi *Gateway* a podsíti na bázi master-slave, ale naopak kterýkoliv uzel podsítě může spontánně vytvářet nebo přijímat zprávy.
- **DF1 Master Mode**  
Tento mód je v principu stejný jako Master Mode, jenom je zde použit DF1 protokol.

#### 4.2.4.1 Vytváření datových bloků protokolu

V softwaru ACM se pro popis komunikace podsítě vytvářejí následující datové bloky. Jakým způsobem jsou použity ve třech protokolových módech, bude popsáno v následujících kapitolách.

- **Node (Uzel)**  
Uzel reprezentuje jedno zařízení na podsíti. Každý uzel může být spojen s číslem transakcí, viz dále
- **Transaction (Transakce)**  
Transakce představuje kompletní sériový přenos, a obsahuje počet *frame*(viz dále). Každá transakce má přiřazen set parametrů kontrolující jak a kdy má být použita na podsíti.



- **Commands (Příkazy)**

Příkaz je jednoduše předdefinovaná transakce uložena v seznamu softwaru *ACM*. Uložení a opětovné použití zjednodušuje konfiguraci běžných operací.

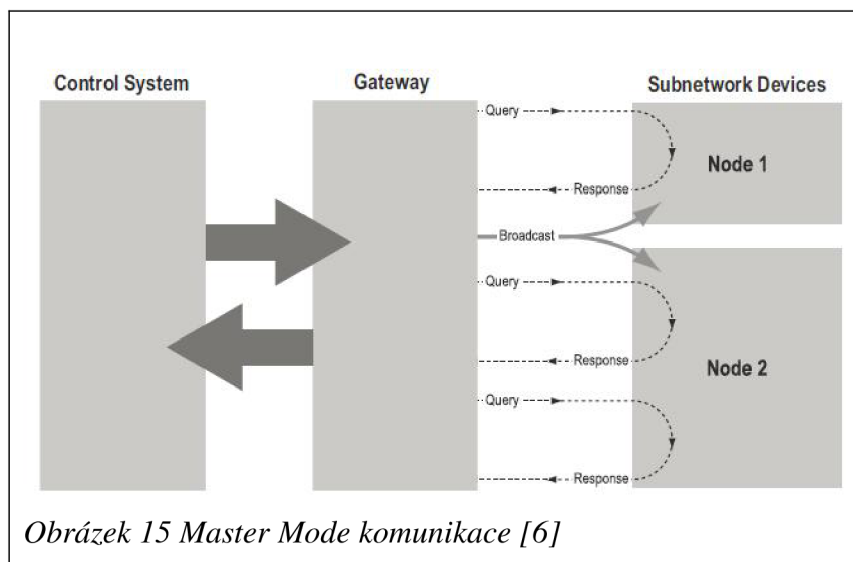
- **Frame object (entity)**

*Frame* objekty jsou entity nejnižšího stupně, použity pro vytvoření transakce. *Frame* může představovat fixní hodnotu (konstantu), rozsah hodnot (objekty), datový blok, nebo součet hodnot.

#### 4.2.4.2 Master Mode

V tomto módu je komunikace založena na principu dotaz-odpověď. *Gateway* pošle dotaz na podsít' a uzel, který *Gateway* zavolala, musí poslat odpověď na tento dotaz. Uzly nemají povoleno posílat odpovědi spontánně, aniž by dostaly nejdříve dotaz.

Toto pravidlo má jednu výjimku: *broadcaster* - vysílání. Většina protokolů dovoluje nějakým způsobem vysílat zprávy všem uzlům na podsít'i, aniž by musely posílat odpověď zpět.



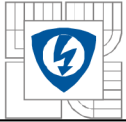
Obrázek 15 Master Mode komunikace [6]

Software *ACM* v *Master Mode* obsahuje předdefinované příkazy pro síť MODBUS RTU a budeme jej tedy používat během testování komunikace mezi REM620 a Anybus převodníku.

#### 4.2.4.3 Datová reprezentace PROFIBUS

*Anybus Communicator* se chová jako Slave zařízení v síti PROFIBUS. Jako takový neiniculuje komunikaci napříč dalším uzlům, ale PROFIBUS Master z něj může číst a zapisovat do něj.

Vstupní a výstupní datové oblasti jsou ve vnitřním paměťovém zásobníku reprezentovány jako PROFIBUS I/O data. Množství dat, která jsou přenášena na síti, závisí na konfiguraci v *Gateway*. Během nastavování PROFIBUS komunikace se musíme ujistit, že počet I/O PROFIBUS Master zařízení odpovídá stejnému počtu u *Gateway*. Objem dat může být sledován v reálném čase použitím nástroje *Subnetwork Monitor*.

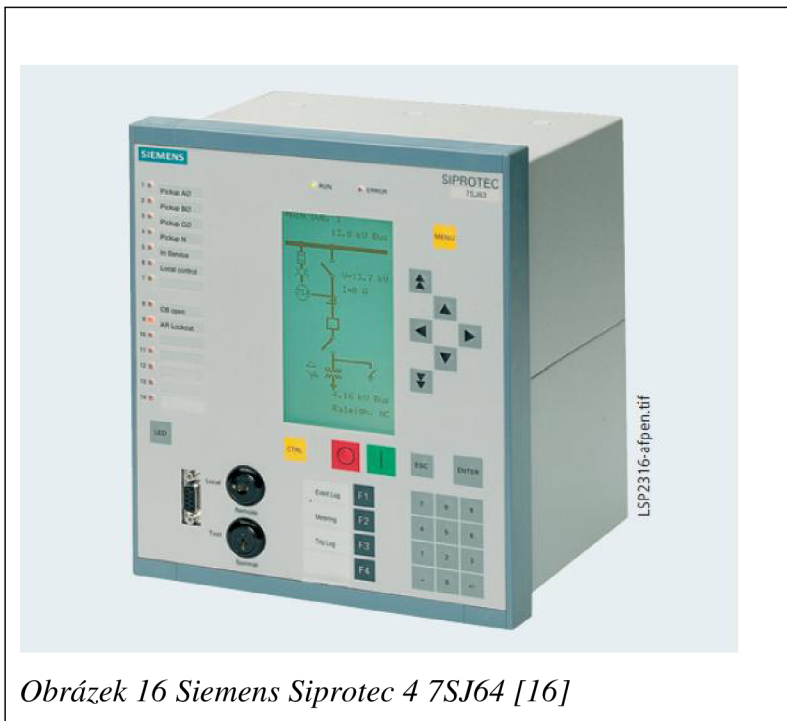


## 4.3 Ochranný terminál SIPROTEC 7SJ64

### 4.3.1 Popis terminálu 7SJ64

SIPROTEC řady 4 typu 7SJ64 může být používán jako ochranné a monitorující relé pro distribuční připojení a přenosové vedení jakéhokoliv uzemněného vedení. Ochrana vyhovuje sítím s radiální nebo smyčkovou topologií. Dále je vybavena funkcí synchronizace, díky které dokáže kontrolovat například stejnou hodnotu napětí na vývodu vedení a na hlavním vedení. Zahrnuje také ochranné funkce pro motorové aplikace, jako například hlídání hodnoty proudu a celkového zatížení.

Podle potřeby konkrétní aplikace může být specifikováno až 20 ochranných funkcí. Mezi další přednosti patří kontrola řízení ovládacích prvků rozvodny, například zapínání/vypínání vypínače nebo ovládání motorového pohonu vozíku vypínače.



Obrázek 16 Siemens Siprotec 4 7SJ64 [16]

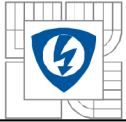
Mezi komunikační prostředí, které terminál 7SJ64 podporuje, patří komunikační standardy IEC 60870 a IEC 61850, dále pak PROFIBUS DP a v neposlední řadě DNP 3.0 a MODBUS RTU.

#### 4.3.1.1 Komunikační rozhraní

Terminály řady SIPROTEC nabízejí flexibilitu připojení rozveden do komunikačních logik průmyslových a automatizačních sítí. Díky modulárnímu principu lze poměrně snadno připojovat další jednotky například v rámci rozšiřování výroby.

##### Sériové rozhraní na přední straně terminálu

Na všech jednotkách SIPROTEC je sériové připojení přes rozhraní RS232. Díky tomu se lze na jednotky připojovat pomocí PC a konfigurovat jejich logiku pomocí software DIGSI. Tento software je také využíván při testování před uvedením do provozu a provádění chybové analýzy.



### Rozhraní na zadní straně terminálu

Na zadní stranu terminálu lze připojit několik komunikačních modulů, v závislosti na konkrétní aplikaci. Moduly lze jednoduše měnit mezi sebou a podporují následující aplikace:

- **Časová synchronizace**

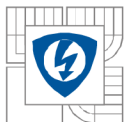
Všechny jednotky SIPROTEC mají integrovanou elektrickou časovou synchronizaci. Toto může být využito při dodávání časových přenosů v IRIG-B nebo DCF77 formátů do terminálu přes časově synchronizované posluchače.

- **Systémové rozhraní**

Přes toto rozhraní je ovládán centrální kontrolní systém. V závislosti na zvoleném rozhraní lze ovládat kruhovou nebo radiální komunikační topologii rozvodu. Navíc přes toto rozhraní lze provádět přenos dat připojením k ethernetu a přes protokol IEC61850 a také konfigurovat přes software DIGSI.

- **Servisní rozhraní**

Servisní rozhraní bylo navrženo pro vzdálené připojení k ochranným jednotkám pomocí DIGSI. Jedná se o elektrické rozhraní RS232/RS485. Pro speciální aplikace lze také připojit moduly monitorující teplotu – RTD moduly. Volitelně lze připojit až dva takové moduly.



## 5 NÁVRH A REALIZACE SYSTÉMU OCHRAN

Touto kapitolou začíná praktická část této diplomové práce.

### 5.1 Návrh systému komerčních ochran od firem ABB a Siemens

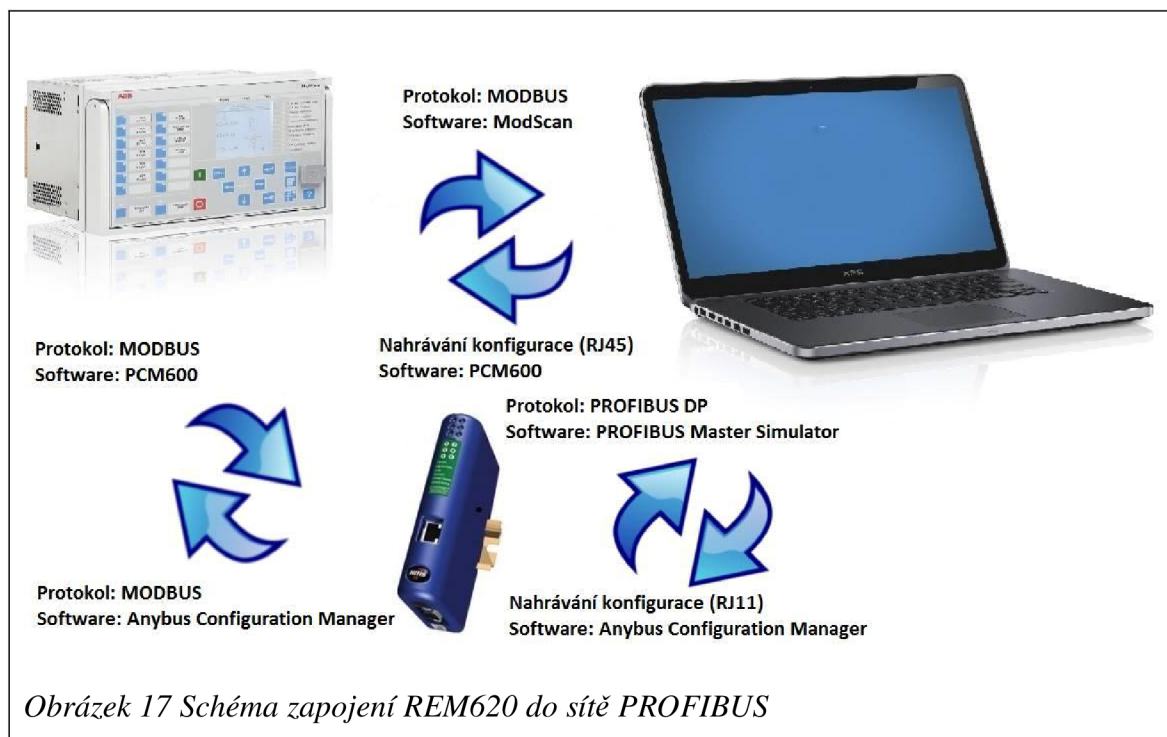
Hlavní motivací této diplomové práce je navrhnout a realizovat komunikaci systému pro ochrany ABB REM620 a Siemens 7SJ64. Účelem je otestování dvou odlišných komunikačních schémat:

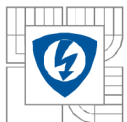
- 1) Komunikace PROFIBUS-DP na ochraně firmy ABB za použití převodníku HMS *Anybus Communicator* pro konverzi protokolu MODBUS na PROFIBUS.
- 2) Vertikální komunikace IEC61850 při zapojení ochrany Siemens SIPROTEC 7SJ64 do Ethernet switche.

Požadovaným výstupem je srovnání obou schémat z hlediska náročnosti na engineering. Samotné testování bude probíhat s laskavým svolením managementu na testovacím panelu v rámci oddělení programování ochran firmy ABB v Brně.

### 5.2 Připojení REM620 do sítě PROFIBUS použitím převodníku HMS Anybus Communicator

V tomto zapojení je realizováno připojení REM620 k Anybus převodníku pomocí sériového rozhraní RS232 a použití komunikačního protokolu Modbus na principu Master-Slave, kde Slave zařízení představuje ochrana od firmy ABB REM620 a Master nebo také *Gateway* převodník Anybus. Toto zapojení v našem případě reprezentuje tzv. *subnetwork*, neboli podřízenou síť.





### 5.2.1 Konfigurace ochrany REM620

Ochrany ABB produktové řady Relion, kam patří i REM620, podporují komunikační protokol MODBUS standardně, pokud je pro konkrétní verzi ochrany tento protokol vyspecifikován. To znamená, že pokud například projektový inženýr objednává ochranu na projekt, musí tuto volbu zohlednit v objednávacím kódu ochrany.

MODBUS bitové adresy a signály má ochrana REM620 defaultně nastaveny. V software PCM600 se k nim dostaneme přes menu *Communication management*, kde zvolíme protokol MODBUS. Z aplikačních funkcí máme na výběr následující (popis viz tabulka 5):

- 0X – Coils
- 1X – Inputs
- 3X – Input registers
- 4X – Holding registers

Popis těchto aplikačních funkcí je popsán v kapitole 3.4.

Pro testovací účely této diplomové práce pracujeme s následujícími signály:

Tabulka 7 Stavové pozice CB

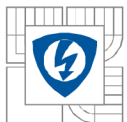
Adresa bitu	Adresa registru	IEC 61850 název	Popis	Hodnota
		CTRL.CBCSWI1		
2804	175.04	.Pos.stVal.Close	CB zapnutý	1 = Zapnuto
2805	175.05	.Pos.stVal.Open	CB vypnutý	1 = Vypnuto
2806	175.06	.Pos.stVal.Fault	Chybná pozice	1 = Pozice (00/11)

Tabulka 8 Fázové hodnoty proudu

Adresa registru	Typ [bit]	IEC 61850 název	Popis	Hodnota
	Integer	LD0.CMMXU1	Fázový proud	
138	16	A.phsA.instCVal.mag	amplituda fáze A	0.00..40.0 [xIn]
139	16	A.phsB.instCVal.mag	amplituda fáze B	0.00..40.0 [xIn]
140	16	A.phsC.instCVal.mag	amplituda fáze C	0.00..40.0 [xIn]

Tabulka 9 Fázové hodnoty napětí

Adresa registru	Typ [bit]	IEC 61850 název	Popis	Hodnota
	Integer	LD0.VMMXU1	Fázové napětí	
152	16	.phV.phsA.cVal.mag	amplituda fáze A	0.00..40.0 [xUn]
153	16	.phV.phsB.cVal.mag	amplituda fáze B	0.00..40.0 [xUn]
154	16	.phV.phsC.cVal.mag	amplituda fáze C	0.00..40.0 [xUn]



Pro vyčítání absolutních hodnot napětí a proudu je potřeba v Modbus mapě REM620 zatrhnout volbu *Primary Scale Factor in Use* a nastavit *Scale factor* na hodnotu 1.

Tabulka 10 Měření výkonu

Adresa registru	Typ [bit]	IEC 61850 název	Popis	Hodnota
	Integer	LD0.PEMMXU1	Měření 3f výkonu	
161	32	.TotW.instMag	Celkový činný výkon P (high)	± 999,999
162		.TotW.instMag	(low word)	
165	32	.TotVA.instMag	Celkový zdánlivý výkon S	± 999,999
166		.TotVA.instMag	(low word)	
167	16	.TotPF.instMag	Účinník PF	-1;1

Jako poslední otestujeme posílání příkazu Reset na logický blok TRPPTRC1 v konfiguraci REM620. Tento signál je v REM620 nakonfigurován na výstup číslo 10 logického bloku SPCGGIO1. Ovládací příkazy jsou dostupné v paměťové části 0X Coils:

Tabulka 11 Ovládací příkaz Reset - MODBUS

0XA	CS	IEC 61850 název	Popis	Hodnota
		LD0.SPCGGIO1		
2121	5.09	.SPCS10.ctlVal	Řízení výstupu č.10	0/1 = Off/On

Poznámka: 0XA = Adresa paměti 0X Coils, CS = Řídící struktura a bit v této struktuře

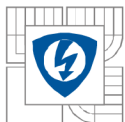
Pro kontrolu správného nastavení komunikace MODBUS na REM620 použijeme software ModScan. Doporučené nastavení MODBUS pro REM620 v software PCM600:

Tabulka 12 Nastavení MODBUS pro REM620 v PCM600

MODBUS parametr	REM620 hodnota
Serial port	COM 1
Parity	None
Link	RTU
Start delay	4 [char]
End delay	3 [char]

Dále je doporučeno nastavit následující parametry přímo přes displej IED REM620:

*Menu-Configuration-Communication-COM1*



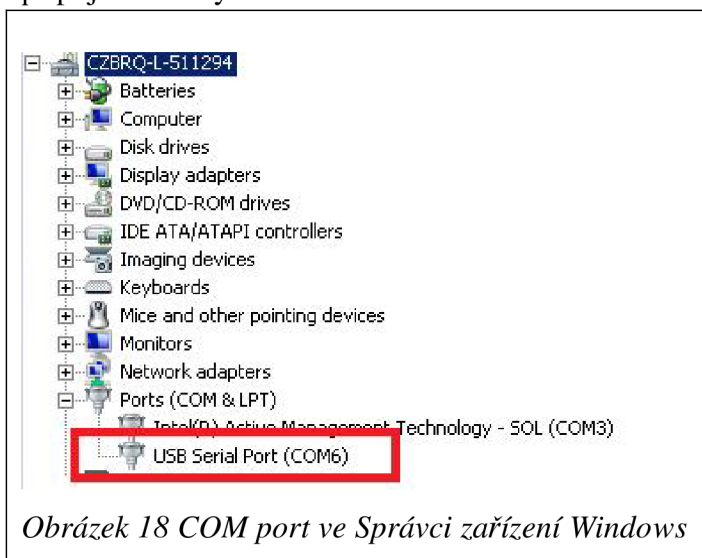
Tabulka 13 Nastavení parametrů COM1 v REM620<sup>1)</sup>

<b>Fiber mode</b>	Fiber optic
<b>Serial mode</b>	RS232 no handshake
<b>CTS delay</b>	0
<b>RTS delay</b>	0
<b>Baudrate</b>	9600

1) Závisí na konkrétní specifikaci IED.

Pokud máme nastaveny všechny parametry, můžeme se pokusit připojit programem ModScan. Postup je následující:

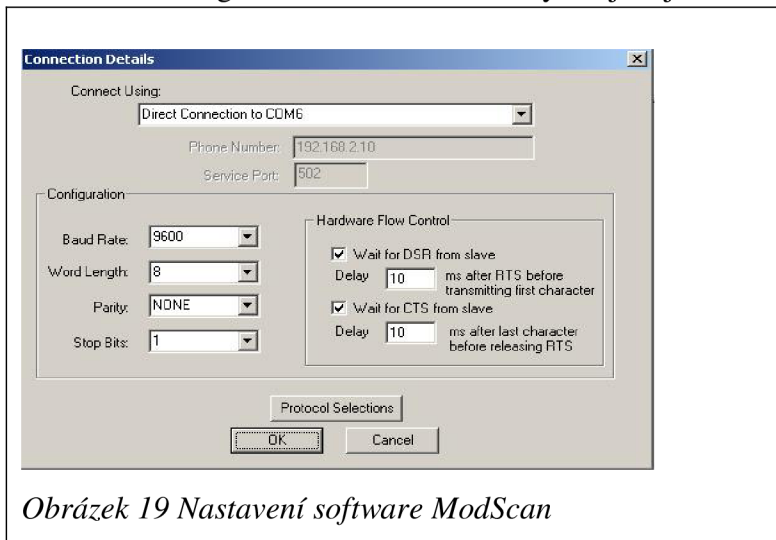
1) Ve Windows: *Ovládací panel*-> *Správce zařízení* ověříme, přes který port máme připojen sériový kabel.



Obrázek 18 COM port ve Správci zařízení Windows

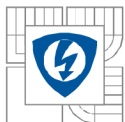
Tedy v našem případě se jedná o COM6.

2) V programu ModScan v menu *Connection*->*Connect* nastavíme *Connection detail*. **POZOR:** Konfigurace MODBUS musí být stejná, jako máme nastaveno v IED.

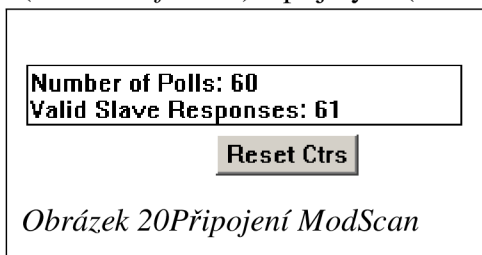


Obrázek 19 Nastavení software ModScan





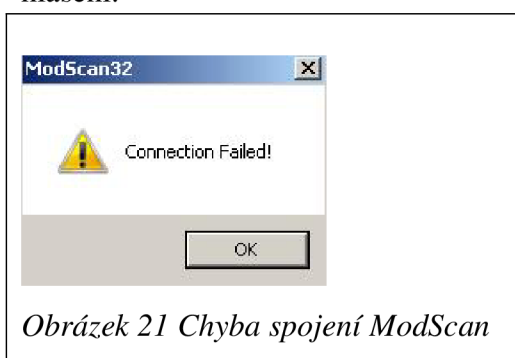
- 3) Kliknutím na OK se ModScan pokusí připojit k ochraně. Pokud máme všechno nastavené správně, ModScan nevyhodí žádné chybové hlášení a začne nabíhat počet poslaných (*Number of Polls*) a přijatých (*Valid Slave Responses*) signálů, viz obrázek:



Obrázek 20 Připojení ModScan

Tlačítkem Reset Ctrs můžeme hodnoty vymazat a ModScan začne počítat znovu.

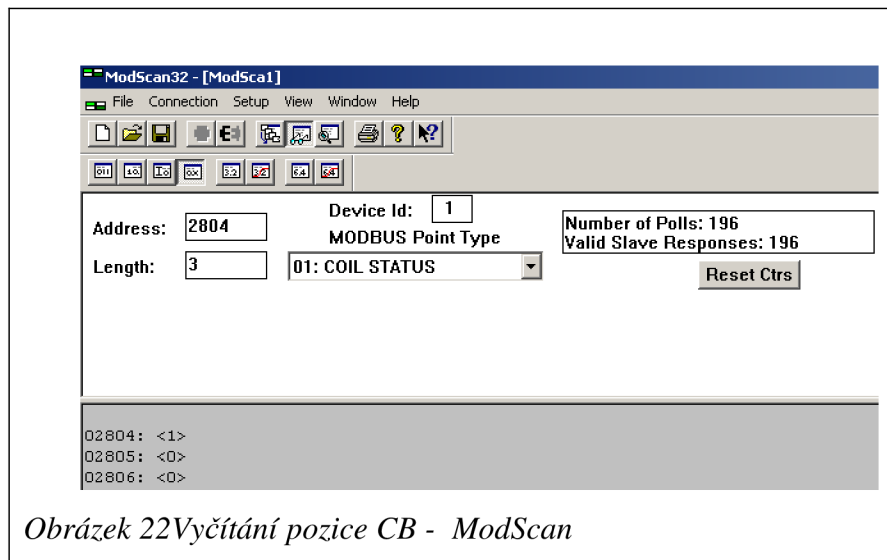
- 4) Pokud nastavíme např. nesprávný COM port, ModScan vyhodí následující chybové hlášení:



Obrázek 21 Chyba spojení ModScan

Pokud je ModScan připojen, lze nyní vyčítat adresy.

### Vyčítání pozice CB:

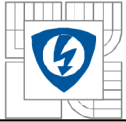


Obrázek 22 Vyčítání pozice CB - ModScan

Vidíme, že hodnota bitové adresy 2804 je 1, což indikuje zapnutý CB (viz Tabulka 7). Při vypnutém CB bude na bitové adrese 2804 hodnota 0, zatímco na bitové adrese 2805 bude hodnota 1. Při nesprávné pozici vypínače se objeví hodnota 1 na bitové adrese 2806.

### Vyčítání analogových hodnot napětí a proudu a výkonu:

Pro testovací účely této diplomové práce je nastaven převod proudových vstupů 100/1 A a napěťový převod 20/0.1 kV (sdružené napětí). Bitové adresy pro jednotlivé hodnoty jsou uvedeny tabulce 8 až 10. Pro korektní zobrazení absolutních hodnot v programu ModScan zvolíme volbu zobrazení *Integer*.



Pokud do všech fází použijeme sekundární hodnotu proudu 1A, ModScan vyčte z ochrany primární hodnoty:

```
40138: < 100>
40139: < 100>
40140: < 100>
```

Obrázek 23 ModScan - vyčítání proudu

Pro fázové (bitové adresy 152 – 154) a sdružené (bitové adresy 155 – 157) hodnoty napětí:

```
40152: < 12>
40153: < 11>
40154: < 12>
40155: < 20>
40156: < 20>
40157: < 20>
```

Obrázek 24 ModScan - hodnoty napětí

Pro hodnoty výkonu (bitové adresy viz Tabulka 10):

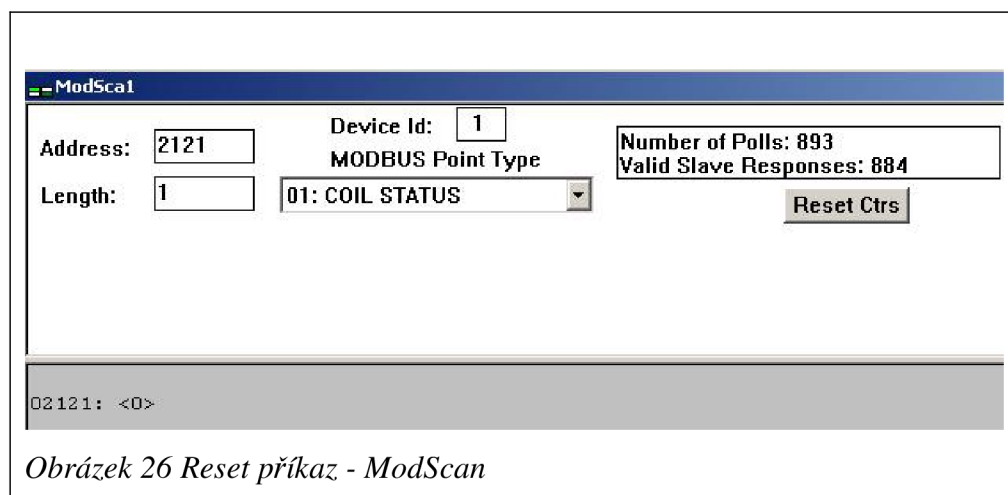
```
40161: < 0>
40162: < 3444>
40163: < 0>
40164: < 0>
40165: < 0>
40166: < 3444>
40167: < 1>
```

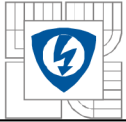
Obrázek 25 ModScan - hodnoty výkonu

Poznámka: Hodnoty jsou zobrazeny v základních jednotkách. Povšimněme si, že hodnoty pro činný a zdánlivý výkon vyčítáme na adrese registru pro *low word* 16bitové části. Vysvětlení viz kapitola 3.4.1.4 Měřicí registry.

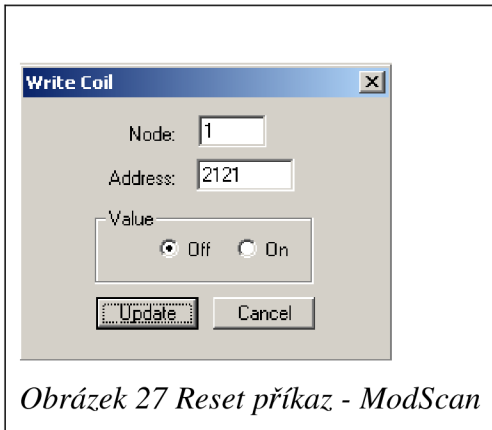
### Posílání příkazu na reset alarm bloku:

Ovládací příkazy vyčítáme a zapisujeme v paměťové části 0x *Coils*. V našem případě bude tedy ModScan vypadat takto:





Pro změnu hodnoty dvojklikem poklepeme na hodnotu adresy a otevře se nám následující okno:



Obrázek 27 Reset příkaz - ModScan

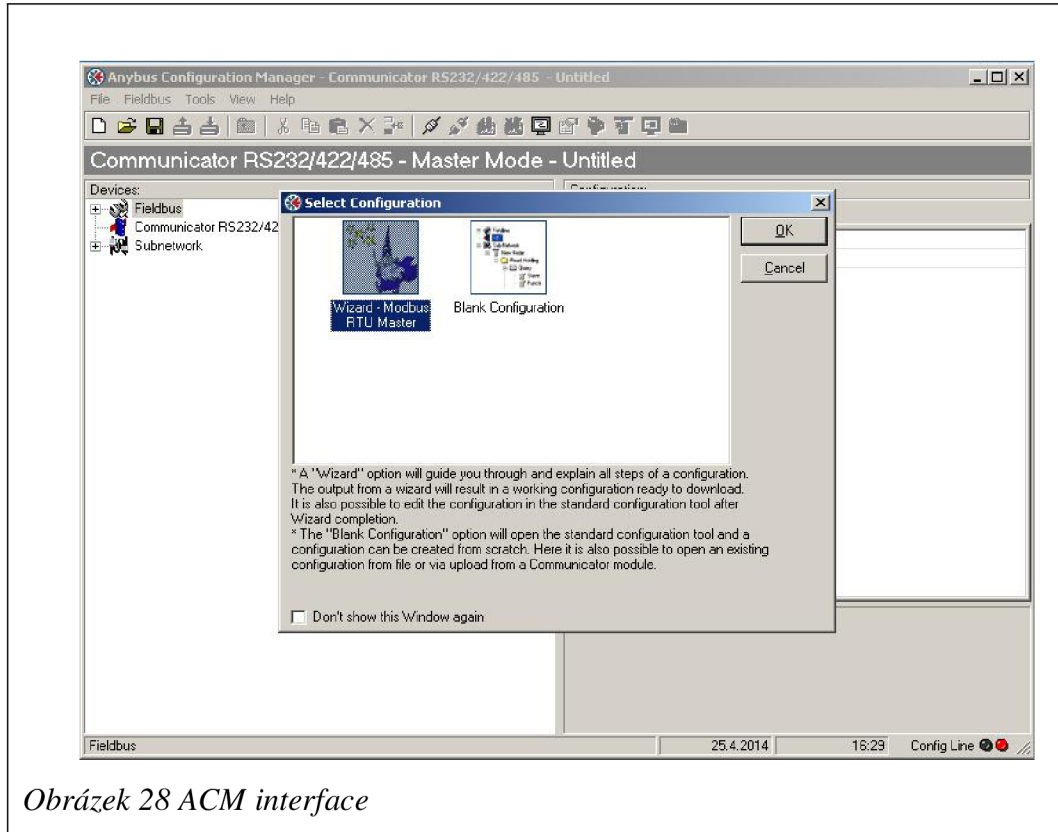
Nyní už stačí změnit hodnotu z *Off* na *On* a stisknout tlačítko Update. ModScan pošle příkaz do ochrany REM620 na resetování alarm bloku TRPPTRC1. Tímto způsobem fungují všechny ovládací příkazy.

Máme-li ověřeny všechny bitové adresy, které chceme vyčítat pro PROFIBUS síť ověřeny, můžeme přistoupit k dalšímu kroku.



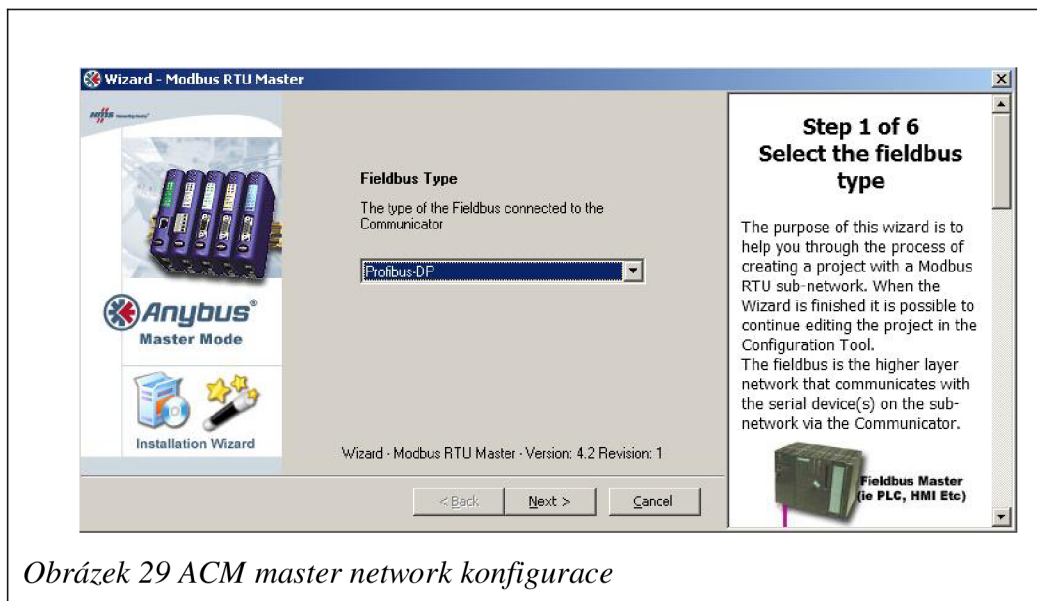
## 5.2.2 Konfigurace převodníku HMS Anybus Converter

Konfigurace a monitoring převodníku provádíme přes software *Anybus Communication Manager*. Po jeho spuštění se nám otevře následující nabídka:

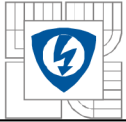


Obrázek 28 ACM interface

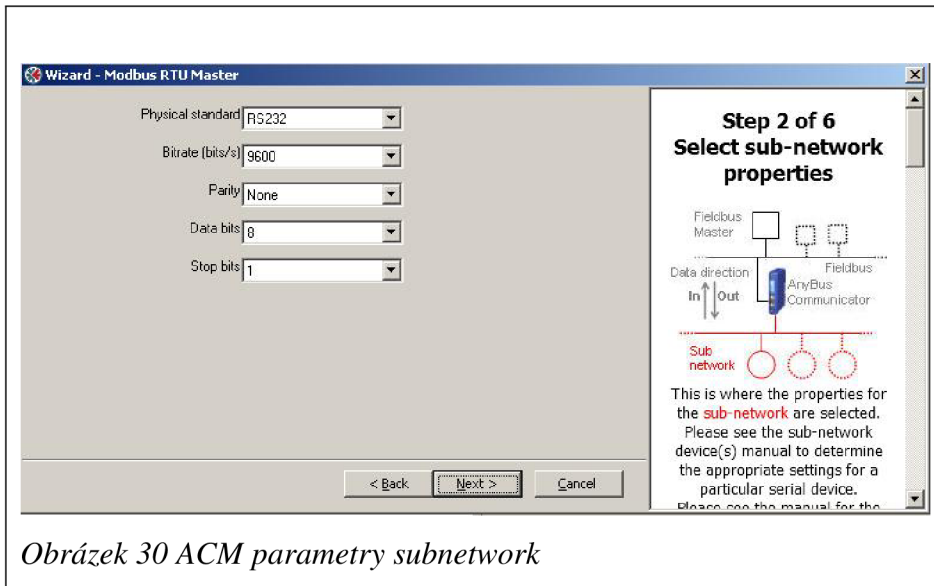
Je doporučeno pro vytváření nové konfigurace použít nabízený nástroj *Wizard-Modbus RTU Master*, který uživatele provede konfigurací krok za krokem. Po spuštění nástroje se nám otevře okno s výběrem komunikačního protokolu hlavní sítě (*Fieldbus type*), na pravé straně dialogového okna se nachází průvodce a popis jednotlivých menu. Pro náš případ zde zvolíme PROFIBUS-DP a pokračujeme kliknutím na *Next*:



Obrázek 29 ACM master network konfigurace



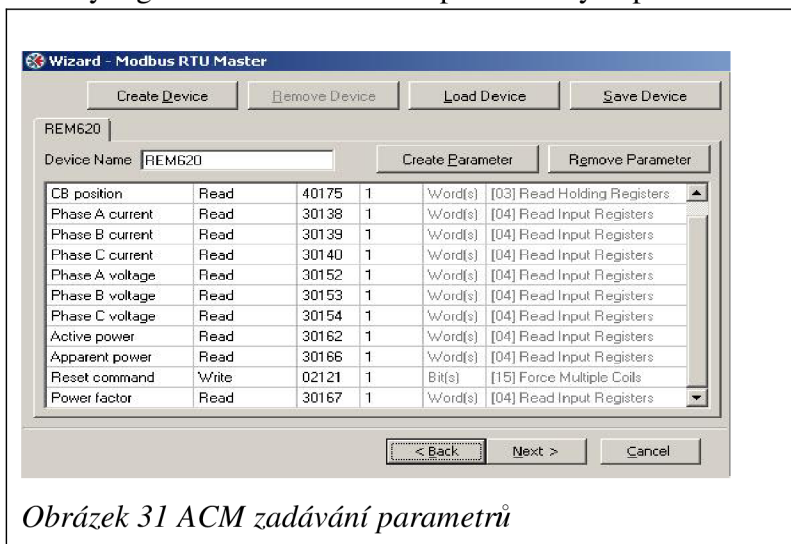
V dalším okně nastavujeme hodnoty podsítě MODBUS RTU. Z logiky věci vyplývá, že toto nastavení musí odpovídat nastavení sítě MODBUS v ochraně REM620.



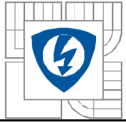
Obrázek 30 ACM parametry subnetwork

Následující krok je velmi důležitý. Zde totiž definujeme zařízení pro podřízenou síť a jeho parametry, které hodláme vyčítat po nadřazené síti. V případě této diplomové práce pracujeme pouze s jedním zařízením (REM620). Pomocí tlačítek *Create/Remove parameter* můžeme přidávat nebo mazat parametry zařízení. Přidání parametru postupujeme následovně:

- 1) Zmáčkneme *Create Parameter* a nově vytvořený parametr pojmenujeme (např. *CB position*).
- 2) Zvolíme *Data direction*. Pro vyčítání hodnot bude volena hodnota *Read*, pro zapisování (Reset) zvolíme hodnotu *Write*.
- 3) *Register* – zde zadáme adresu registru, pro vyčítání stavu vypnuto/zapnuto CB volíme adresu registru „40175“.
- 4) *Lenght* – délka registrů. Pokud zadáváme všechny registry po jednom, necháme délku nastavenou na 1.
- 5) Další dvě parametrové hodnoty *Type* a *Modbus Command* doplní konfigurátor sám podle adresy registrů. Po zadání všech požadovaných parametrů dostaneme tento obrázek:

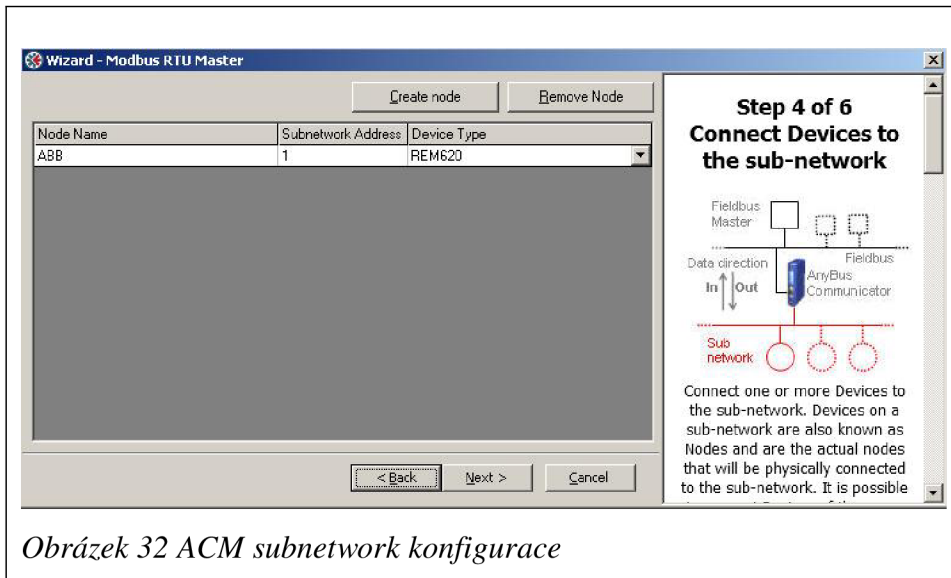


Obrázek 31 ACM zadávání parametrů



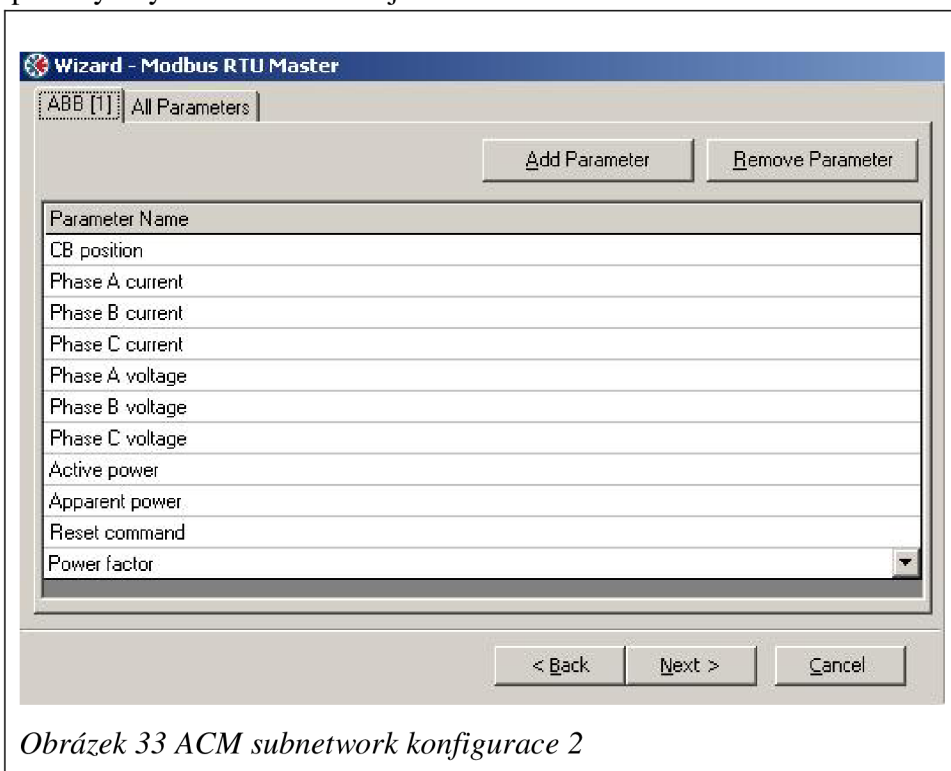
Zařízení uložíme pomocí tlačítka *Save Device* pro použití při dalších projektech a pokračujeme kliknutím na tlačítko *Next*.

V dalším kroku založíme uzel – *Node* na podsíti a přiřadíme mu zařízení, které jsme vytvořili v předchozím kroku:



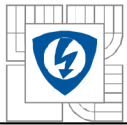
Obrázek 32 ACM subnetwork konfigurace

V dalším kroku jsme vyzváni k přiřazení parametrů vytvořených v předchozím kroku pro daný uzel. Všechny parametry, které jsme zvolili pro zařízení REM620 a přiřadili do uzlu ABB, musí zde být přidány. Výsledek na následujícím obrázku:



Obrázek 33 ACM subnetwork konfigurace 2

V posledním kroku se vytvoří report celé konfigurace. Lze jej uložit ve formátu .rtf nebo jej vytisknout do .pdf souboru. Hodí se například do dokumentace pro koncového uživatele. Tímto posledním krokem jsme vytvořili konfiguraci pro podřazenou síť, v našem případě tedy MODBUS RTU.



### 5.2.2.1 Zapojení převodníku

Napájecí napětí převodníku je 24 VDC. Toto je třeba mít na paměti, pokud převodník chceme napájet z například ze sítě 230 VAC. Pro účely diplomové práce bylo použité napájecí zařízení od firmy *Phoenix Contact* s parametry popsány v následující tabulce:

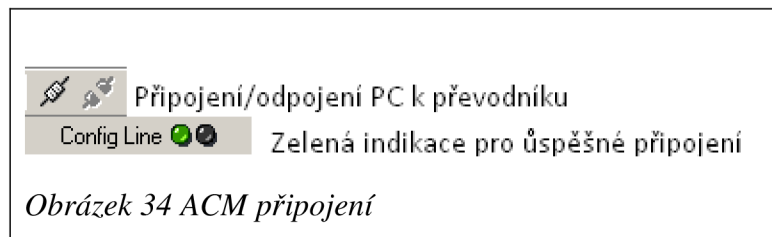
Tabulka 14 Parametry zařízení *Phoenix Contact*


Napájení	
Vstupní	Výstupní
<b>AC:</b> <b>120-230 V</b> <b>Rozsah: 85-264 V, 0.4-0.2 A</b>	24 V DC -0, +3%
<b>DC:</b> <b>90-250 V, 0.4-0.2 A</b>	650 mA

Nastavení Slave adresy převodníku pro síť PROFIBUS se skrývá pod plastovou krytkou na čelní straně převodníku (viz Obrázek 13). Zde najdeme dva otočně switche, pomocí kterých definujeme požadovanou adresu. Defaultně je nastavena Slave adresa na hodnotu 22.

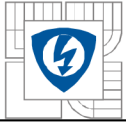
### 5.2.2.2 Nahrávání konfigurace přes *Anybus Communication Manager*

Po vytvoření konfigurace podřízené sítě nám nic nebrání tuto konfiguraci nahrát do převodníku. Nejprve opět ve Správci zařízení ve Windows opět ověříme, přes který port jsme k převodníku připojeni. Tento port poté zvolíme v menu *Tools->Port*. Dále stisknutím tlačítka *Connect* se pokusíme k převodníku připojit. Úspěšné připojení PC k převodníku je signalizováno na stavovém řádku v software *ACM* vpravo dole.



Pokud se nám podaří připojit, můžeme se pokusit o nahrání konfiguraci podřízené sítě přímo do převodníku pomocí tlačítka *Download to Communicator* . Před nahráním je možné konfiguraci uložit pod zvoleným jménem a použít jako šablonu pro další projekty.

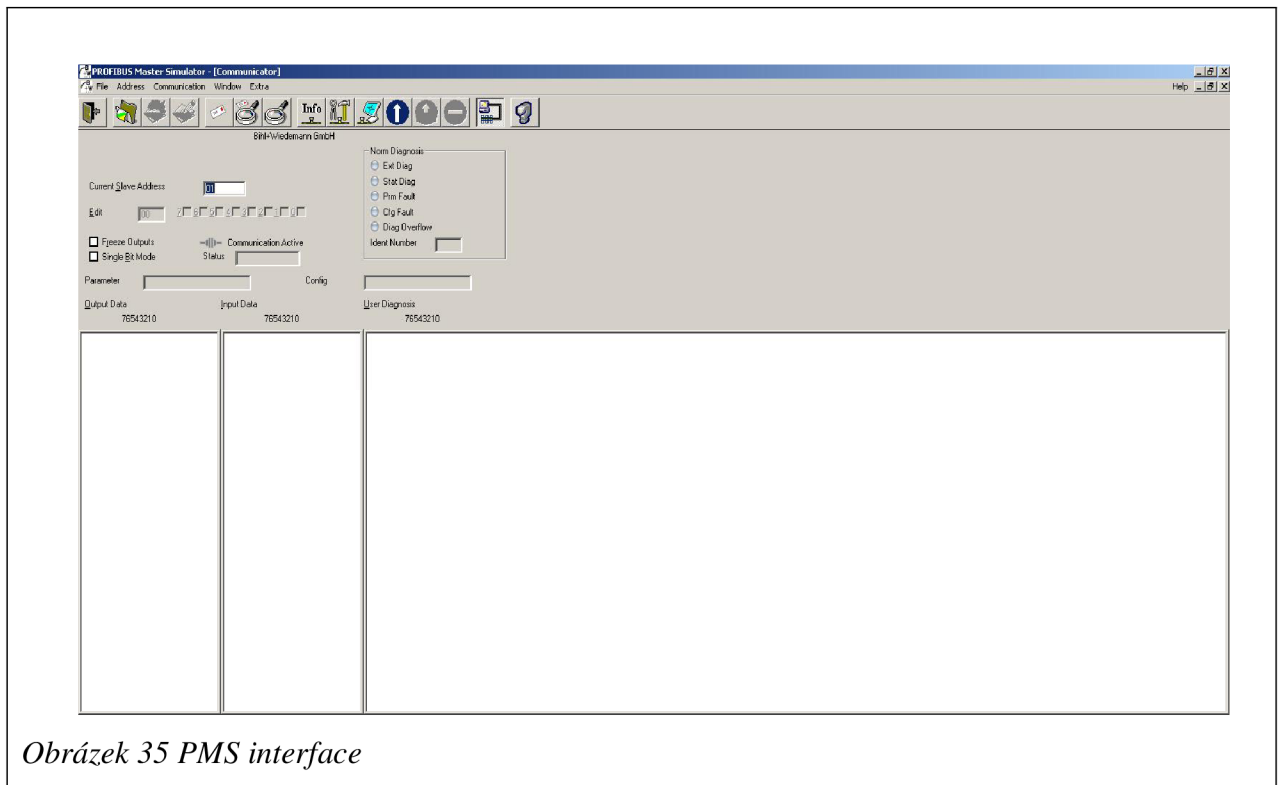
Jestli byly všechny parametry zadány pečlivě nastavení MODBUS sítě v software *ACM* odpovídá nastavení v testované ochraně REM620, fyzicky na převodníku svítí status LED č. zeleně, v opačném případě červeně.



### 5.2.3 Testování PROFIBUS komunikace pomocí software PROFIBUS Master Simulator

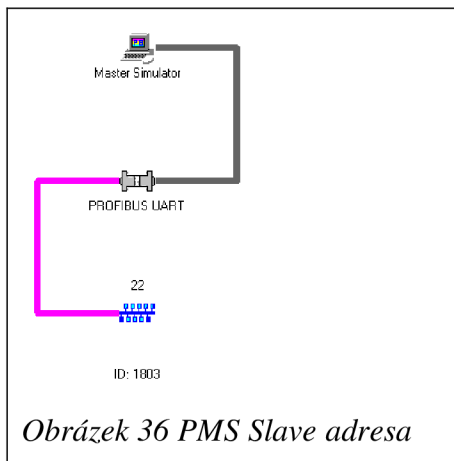
Testování komunikačního protokolu PROFIBUS v případě této diplomové práce bude fungovat na principu Master – Slave, kde Master bude PC a Slave zařízení reprezentuje převodník Anybus. Konektor pro připojení pomocí protokolu PROFIBUS se nachází na přední straně převodníku a je zde konektor RS485. K HMS *Anybus converter* jsme připojeni přes kabel usb/sériové rozhraní a dále pomocí převodníku *PROFIBUS DP Master simulator*.

Pro testování protokolu PROFIBUS použijeme software *PROFIBUS Master Simulator* (dále PMS). Po spuštění PMS nás uvítá rozhraní, které zobrazuje následující obrázek:



Obrázek 35 PMS interface

Nejprve je nutné se připojit ke Slave zařízení. K tomu máme dvě možnosti: buď známe Slave adresu zařízení a zadáme ji přímo do kolonky *Current Slave Address*, nebo můžeme vyzkoušet zařízení vyhledat: menu *Address->Start search PROFBUS slave address*. Software PMS tedy bude procházet adresu po adrese a sám tedy Slave zařízení hledat. Úspěšné nalezení Slave zařízení vypadá takto:



Obrázek 36 PMS Slave adresa



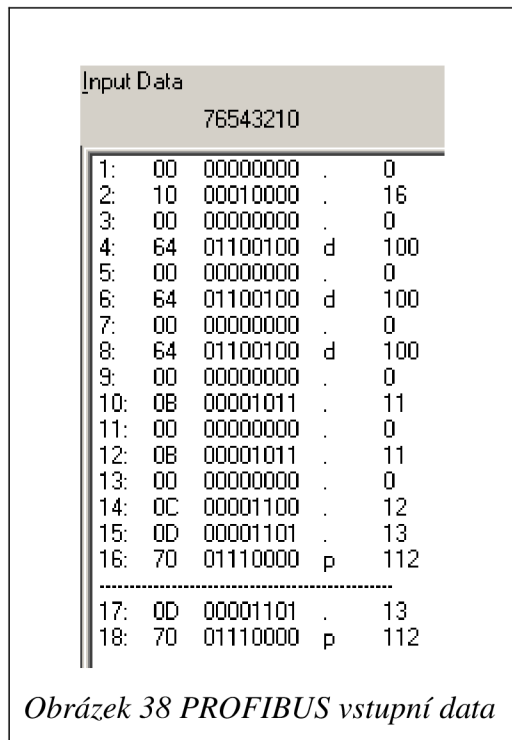
Vidíme, že Slave zařízení se nachází na adrese 22, což odpovídá nastavení switche převodníku Anybus. Nic nám tedy již nebrání se na tuto adresu softwarem PMS připojit. Indikace úspěšného připojení vypadá následovně:



Korektní připojení k síti PROFIBUS Anybus převodník indikuje zeleně svítící LED číslo 1. Pro další práci pro nás budou důležitá okna se vstupními a výstupními registry.

### 5.2.3.1 Testování vstupních registrů (Input Data)

Naše okno vstupních registrů vypadá následovně:



Pořadí vyčtených registrů odpovídá pořadí, v jakém jsme je zadali během konfigurace převodníku Anybus. Vzhledem k tomu, že registry jsou typu 32 bitový *Integer*, vyčítáme je vždy na dvou řádcích. Pověsimně si, že naše vyčtené hodnoty jsou na druhém řádku, který je rezervován pro spodních 16 bitů (viz kapitola 3.4.1.4 Měřící registry).

Data ve sloupci jsou organizovány následovně:

Číslo řádku	Adresa v hexadecimálním tvaru	Adresa v bitovém tvaru	Speciální znaky	Adresa v dekadickém tvaru
-------------	-------------------------------	------------------------	-----------------	---------------------------

Obrázek 39 Organizace dat v PMS



### Vyčítání pozice CB

V našem případě se na druhém řádku nachází registr se stavy CB. Na obrázku má bitová adresa druhého řádku následující hodnotu: 00010000. Bit, na kterém je v registru hodnota 1, zjistíme následovně: čteme adresu zprava doleva, začínáme počítat od nuly a takto počítáme: 0,1,2,3 a 4 má hodnotu 1. Tedy 4. bit tohoto registru má hodnotu jedna. Při kontrole s tabulkou 7 vidíme, že se jedná o stav CB zapnutý, což odpovídá skutečnosti. Pro stavy vypnuto a chybná pozice bude řádek číslo 2 vypadat následovně:

Vypnuto: 2: 20 00100000 32 Chybná pozice: 2: 40 01000000 @ 64

Korektní pozice bitu s hodnotou 1 porovnáme s tabulkou 7.

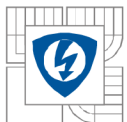
### Vyčítání analogových hodnot měření

Na Obrázku 34 vidíme na řádcích 4, 6 a 8 hodnoty proudu a na řádcích 10,12 a 14 hodnoty fázového napětí. Tyto dekadické hodnoty se zobrazují jako zaokrouhlená celá čísla a odpovídají skutečnosti. V principu jsme tímto vyčítání analogových hodnot měření ověřili, ale budeme důkladnější a zobrazíme tyto hodnoty přesněji. Pro to je třeba vrátit se o několik kroků zpět, konkrétně do konfigurace MODBUS mapy v REM620, kde nalezneme adresy registrů pro měření napětí a proudu (viz tabulky 8 a 9). Zde změníme *Scale factor*, z nastavené hodnoty 1 na hodnotu 1000. Aktualizovanou MODBUS mapu nahrajeme do REM620 a vrátíme se zpět k software PMS. Sloupec vyčítaných registrů teď vypadá následovně:

1:	00	00000000	.	0
2:	10	00010000	.	16
3:	00	00000000	.	0
4:	64	01100100	d	100
5:	00	00000000	.	0
6:	64	01100100	d	100
7:	00	00000000	.	0
8:	64	01100100	d	100
9:	2C	00101100	.	44
10:	F7	11110111	.	247
11:	2D	00101101	.	45
12:	21	00100001	!	33
13:	2C	00101100	.	44
14:	AF	10101111	.	175
15:	0D	00001101	.	13
16:	71	01110001	q	113
-----				
17:	0D	00001101	.	13
18:	71	01110001	q	113
19:	00	00000000	.	0
20:	01	00000001	.	1

Obrázek 40 PROFIBUS Analogové hodnoty

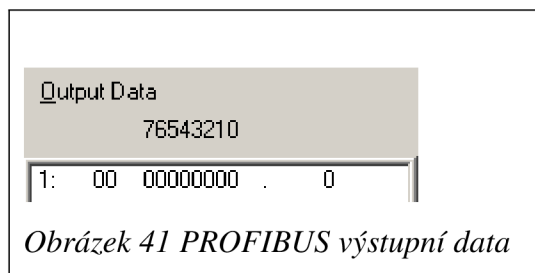
Dekadické hodnoty proudu se nezměnily, zatímco hodnoty napětí a výkonů na první pohled nedávají smysl. To se však změní, pokud si za sebe poskládáme adresy v hexadecimálním tvaru Pro fázi napětí A: hexadická adresa na řádku 9 a 10 dohromady dá tuto adresu 2CF7. Pokud tuto adresu převedeme do dekadické soustavy, dostaneme 11511, tedy 11,511 kV (v základních jednotkách), což odpovídá skutečnosti. Stejným způsobem postupujeme pro zbytek fázových napětí: hexadické adresy řádků 11 a 12: 2D21 = 11,553 kV, řádky 13 a 14: 2CAF = 11,439 kV. Pro činný výkon P platí řádky 15 a 16: 0D71 = 3,441 MW a stejné hodnoty pro zdánlivý výkon S. Na posledním řádku se nachází hodnota účinníku, anglicky *power factor*. Jeho hodnota 1 vysvětluje, proč jsou naměřené hodnoty činného a zdánlivého výkonu stejné: vzhledem k tomu, že jsme naměřili nulový jalový výkon (např. není připojena žádná zátěž, která by jej



způsobovala), je jeho hodnota nulová a proto si hodnoty činného a celkového výkonu odpovídají. Tímto způsobem jsme elegantně otestovali vyčítání analogových hodnot měření.

### 5.2.3.2 Testování ovládacího příkazu

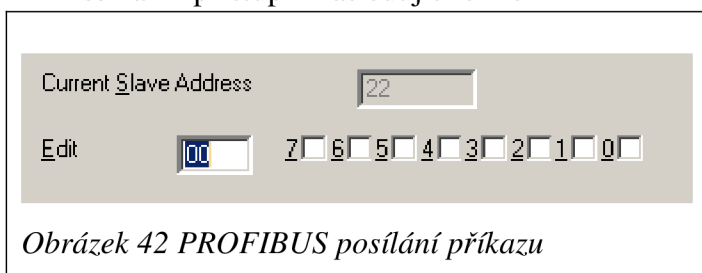
V rámci testovacích účelů této diplomové práce pracujeme ještě s jedním signálem: posílání signálu Reset na alarm blok TRPPTRC1 v konfiguraci REM620. Vzhledem k tomu, že tento signál jsme při konfiguraci převodníku zadali s parametrem *Write*, najdeme ho v software PMS ve sloupci Output Data, viz následující obrázek:



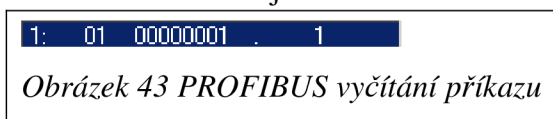
Tento signál slouží ke vzdálenému resetu ochrany, například po vybavení ochranné funkce. Operátor, který sedí v řídicím centru, nemusí přímo fyzicky stát u IED, pouze pošle tento příkaz a IED na dálku vyresetuje a uvede tím do stavu před působením ochranné funkce.

Postup je následující:

- 1) Klikneme na první řádek, kde je registru pro posílání příkazu
- 2) Tím se nám zpřístupní následující okno

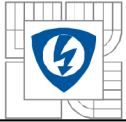


- 3) Do okna *Edit* zapíšeme 01 a tím pošleme příkaz Reset. Hodnota se nám změní, jak je ukázáno na následujícím obrázku:



Poznámka: dokud bude v *Edit* zapsána hodnota 01, bude příkaz neustále posílán díky cyklickému dotazování, viz kapitola 3.2.2 PROFIBUS přenos a komunikace.

Tímto jsme ověřili v podstatě všechny podstatné typy signálů, které lze po MODBUS posílat a přes PROFIBUS vyčítat – pozice CB, měřené analogové hodnoty a posílání příkazu. Stejným postupem, jako je popsán výše, by šly posílat i například ovládací příkazy pro zapnutí/vypnutí CB, vyčítat působení jednotlivých ochranných funkcí a další.

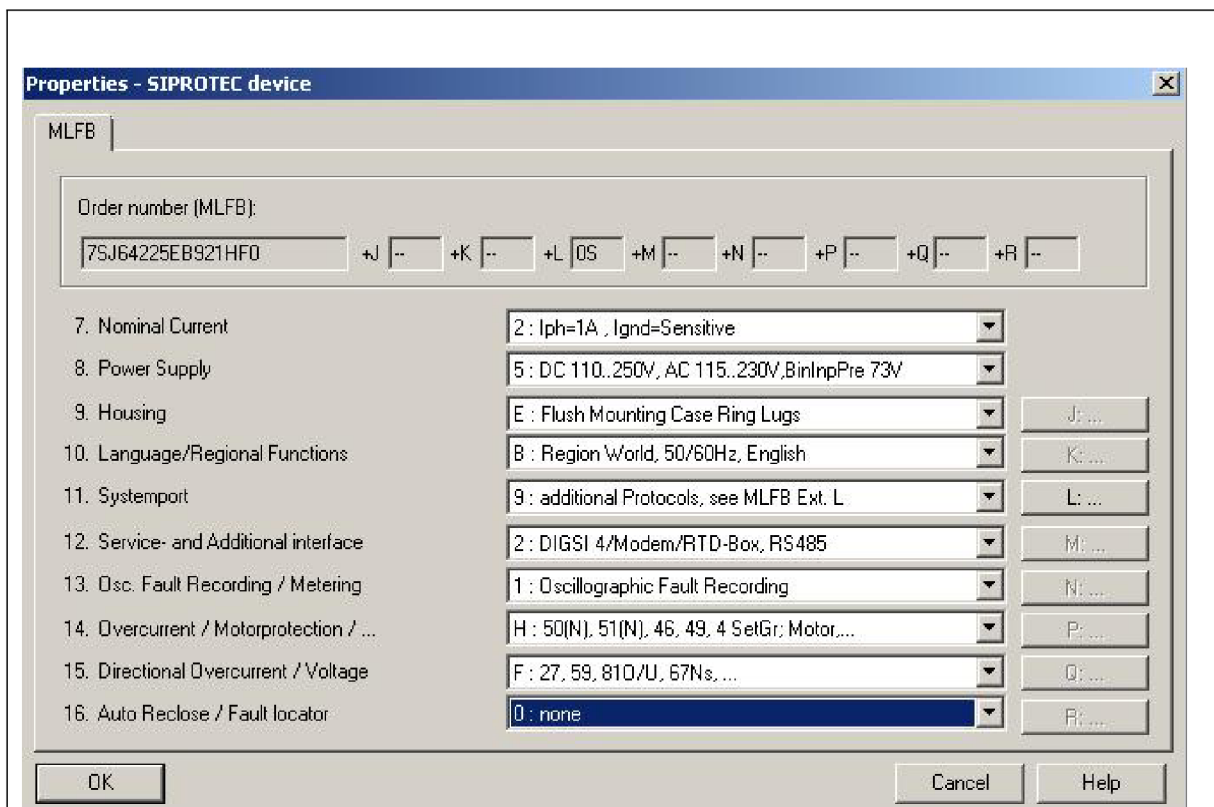


## 5.3 IEC 61850 horizontální komunikace pro Siemens SIPROTEC 7SJ64

### 5.3.1 Konfigurace ochrany SIPROTEC 7SJ64

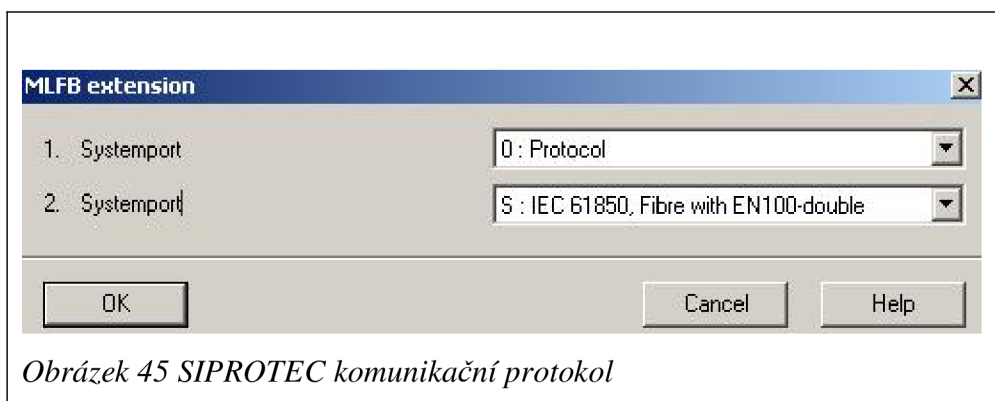
Konfiguraci IED 7SJ64 budeme provádět v software DIGSI V4.87. Nejprve založíme projekt a do složky *Folder* definujeme ochranu: *Insert new device-Siprotec 4 Device-7SJ64-V4.9*.

Otevře se nám dialogové okno *Properties – SIPROTEC device*, kde zadáme objednávací kód ochrany. V případě této diplomové práce to bude vypadat následovně:



Obrázek 44 SIPROTEC objednávací kód

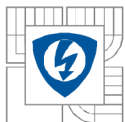
Zvýšenou pozornost věnujeme zadávání komunikačního protokolu s rozhraním:



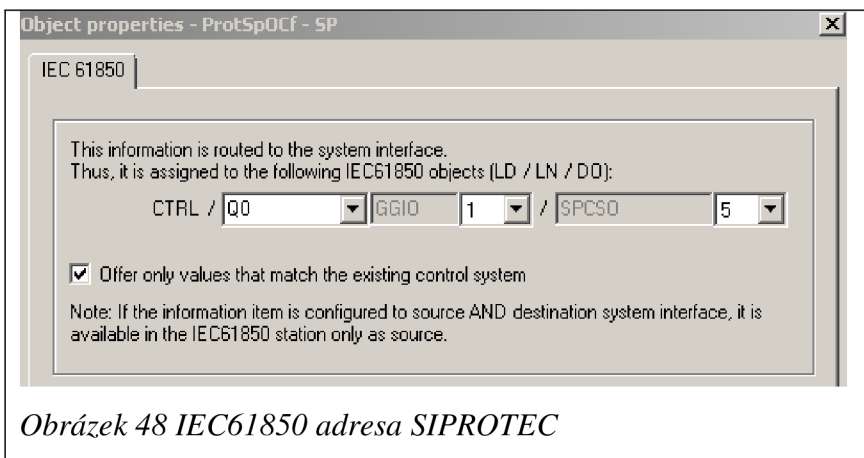
Obrázek 45 SIPROTEC komunikační protokol

Dalším krokem nastavíme parametry pro komunikaci. Právým klikem na ochranu vybereme v nabízeném menu *Object properties-Communication parameters*



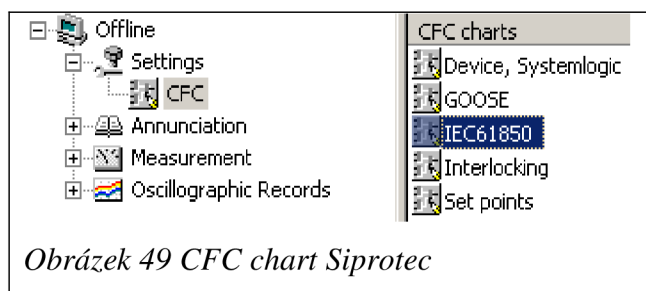


Všem signálům, které chceme po komunikaci posílat, je třeba přiřadit adresu – cestu, přes kterou signál vyčítáme.



Obrázek 48 IEC61850 adresa SIPROTEC

Po té se vrátíme do *Settings*, kde vybereme nástroj *CFC*. V tomto nástroji vytvoříme nový *CFC chart*, který pojmenujeme jako *IEC61850*:

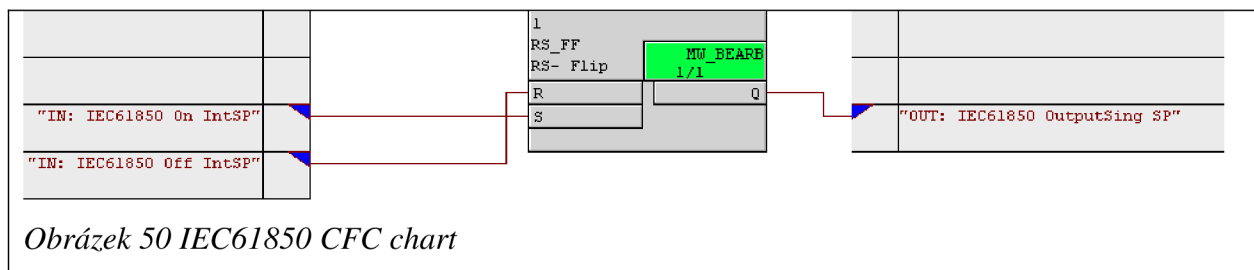


Obrázek 49 CFC chart Siprotec

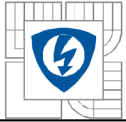
Po otevření nově vytvořeného *CFC chart* můžeme nakonfigurovat logický blok *RS-FlipFlop*. Z nabídky *Memory* vybereme *RS\_FF* a přetáhneme do hlavního okna. Na jeho vstup *S* přivedeme signál *IEC61850 On* a na vstup *R* signál *IEC61850*. Na výstup *Q* pak bude přiveden signál *IEC61850 OutputSing*. Logické schéma na následujícím obrázku.

Následně musíme provést kompilaci – v menu *Chart* vybereme volbu *Compile* a následně *Run as program*.

Tímto můžeme ukončit konfiguraci IED a přejít k vytvoření komunikačních souborů.



Obrázek 50 IEC61850 CFC chart



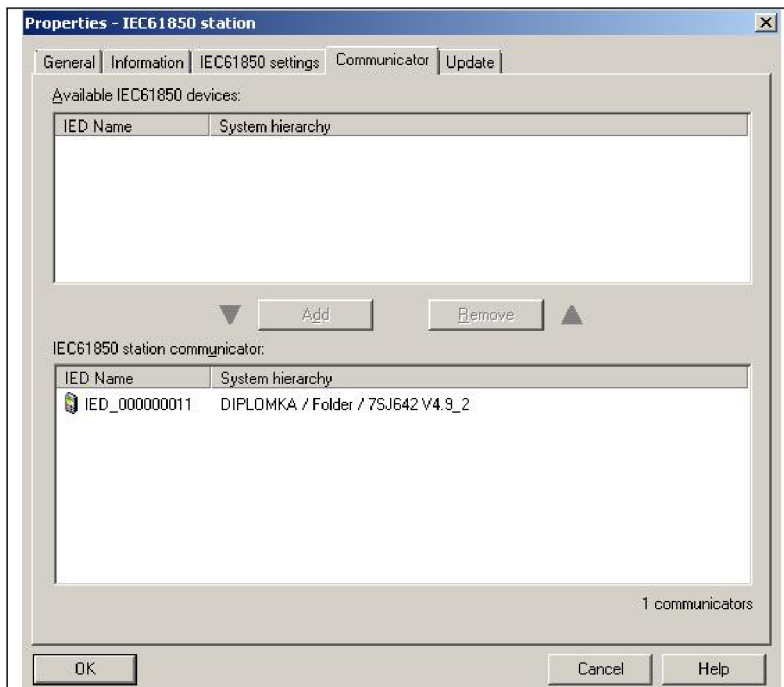
### Konfigurace IEC61850 station v DIGSI

Pro testování vertikální IEC61850 komunikace na IED SIPROTEC, musíme v DIGSI software vytvořit *IEC61850 Station*. Klikneme pravým tlačítkem myši do hlavního okna, vybereme *Insert New Object-IEC61850 Station*.



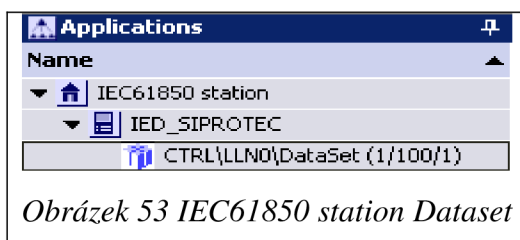
Obrázek 51 DIGSI konfigurace

Dále klikneme pravým tlačítkem na nově vytvořenou *IEC61850 station*, vybereme *Object properties* a klikneme na panel *Communicator*. Zde jako komunikátor přiřadíme IED 7SJ642, kterou jsme vytvořili v předchozím kroku.

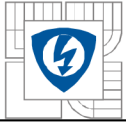


Obrázek 52 IEC61850 station konfigurace

Nyní otevřeme *IEC61850 station* a přepneme na záložku *Reports and logs*. Na záložce *Application* rozklikneme *IED\_SIPROTEC* a volbou *Insert Data set* vložíme *Data set*.



Obrázek 53 IEC61850 station Dataset



V okně *Data content* vidíme obsah Data setu a v okně *Report and Log control blocks* vložíme *New report*. Výsledek vidíme na dalším obrázku

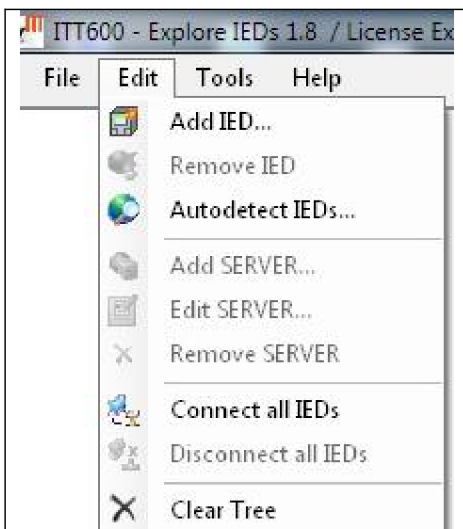
Dataset content			Report and Log control blocks	
Name	CDC	Description	Name	Description
IED_SIPROTEC/CTRL/Q0GGIO1/SPCSO1	SPC	Control/Q0GGIO1/Protection Single Point Fast...	IED_SIPROTEC/CTRL/LLNO/urcBA	

Obrázek 54 Dataset Siprotec

Vidíme, že Data set obsahuje vytvořený signál *OutputSing*. Data set tedy máme vytvořen a můžeme *IEC61850 station* zavřít, čímž naše práce ovšem nekončí. Je potřeba ještě pravým klikem na *IEC61850 station* zvolit *Object Properties* a následně kartu *Update*, kde zvolíme volbu *Update all parameters set*, čímž zaktualizujeme komunikační soubor IED\_SIPROTEC. Po dokončení můžeme přistoupit k samotnému testování vertikální komunikace na IED SIPROTEC 7SJ64.

### 5.3.2 Testování komunikace pomocí software ITT600 SA Explore

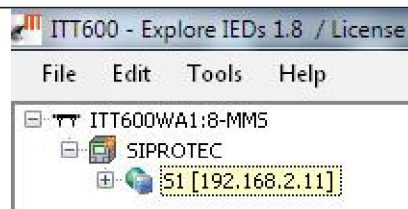
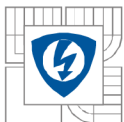
Pro vyčítání testovaného signálu použijeme software *ITT600 SA Explore*. Po spuštění tohoto software v hlavním okně vybereme volbu *Edit*. Zde vidíme, že máme dvě možnosti jak přidat novou IED – buďto ji ručně zadáme, nebo vyhledáme podle IP adresy.



Obrázek 55 ITT600 přidání IED

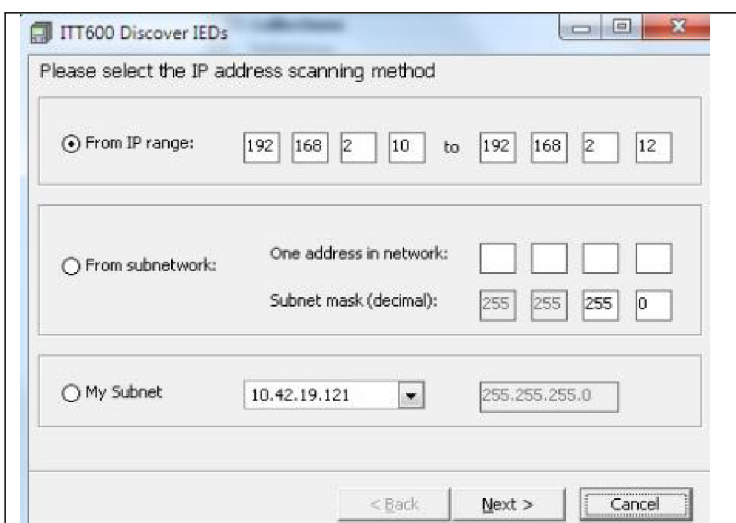
Při uživatelském zadání IED nejprve zvolíme název IED (v našem případě *SIPROTEC*), v dalším kroku pak název serveru a jeho IP adresu. Na levé straně v přehledu po té vybereme definovanou IED se serverem, klikneme pravým tlačítkem a zvolíme volbu *Connect This Server*. Úspěšné připojení značí zelený displej ochrany, jako ukazuje následující obrázek.



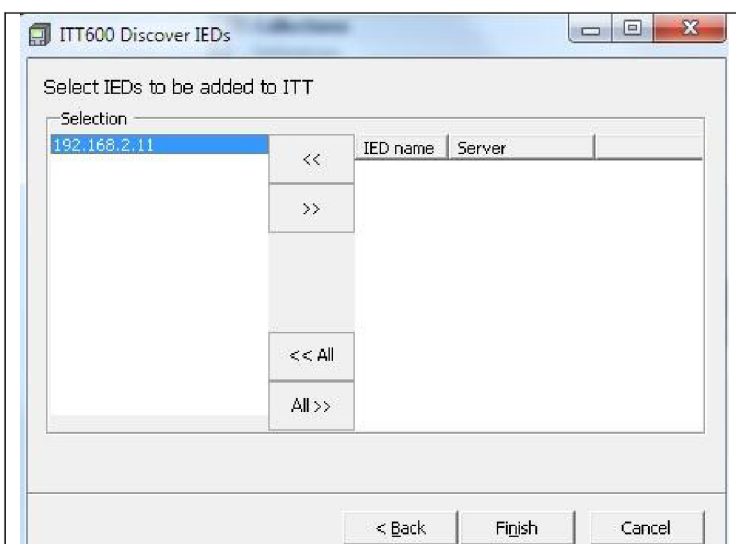


Obrázek 56 ITT600 připojení IED

Při vyhledávání IED podle IP adresy zvolíme v *Edit-Autodetect IEDs*. V nově otevřeném okně dáme vyhledat IED například podle rozsahu IP adres (viz následující obrázek) a klikneme na *Next*. Pokud jsme správně nastavili komunikační parametry IED a zároveň správně zadali rozsah IP adres, výsledkem vyhledávání bude následující obrázek. Nalezenou IED přidáme do ITT.

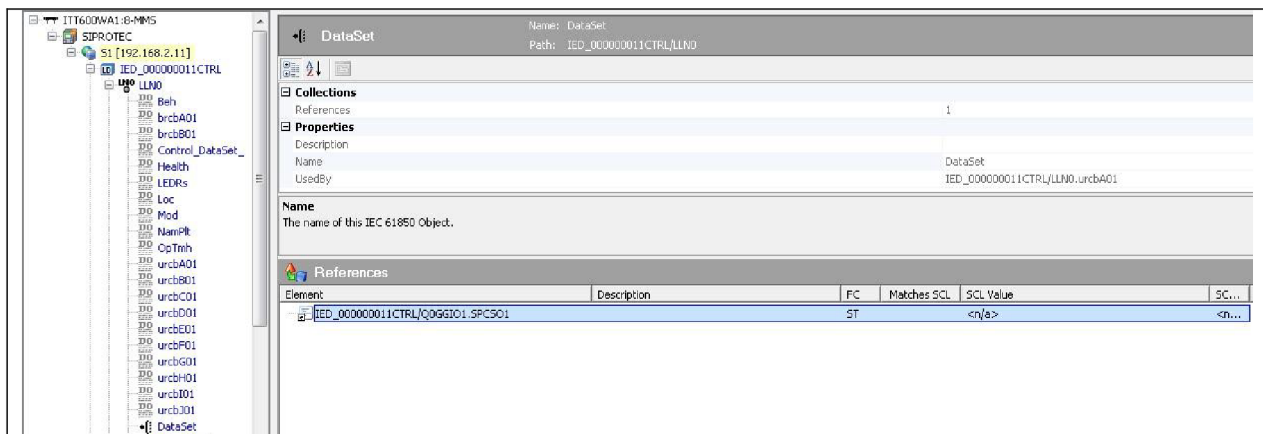
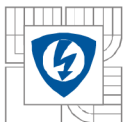


Obrázek 57 ITT600 hledání IED dle IP



Obrázek 58 ITT600 nalezení IED dle IP

V přehledu na levé straně rozklikneme přidanou IED, dále logická data označená jako CTRL (*Control*) a zde vybereme logický uzel LLN0. V tomto uzlu najdeme Data set, vytvořený v IEC61850 station. Jeho obsahem je element s adresou, kterou jsme přiřadili signálu během konfigurace v *Masking I/O (Configuration Matrix)*.



Obrázek 59 ITT600 Siprotec Data set

Samotné testování pak probíhá na principu vertikální komunikace klient – server, v našem případě reprezentováno IED – PC. Před začátkem testování je třeba ještě povolit všechny *RCB blocs*, které chceme po IEC 61850 komunikaci posílat – klikneme pravým na námi vytvořený server, vybereme volbu *Enable reports-Enable all possible RCBs*.

Samotné vyčítání pak probíhá v hlavním okně na záložce *Process Events*. Po stisku tlačítka F1 vygenerujeme signál, který má hodnotu *True*, dokud nestiskneme tlačítko F2.

Enabled BRCB's: 0  
Enabled URCB's: 1  
SIPROTEC IED\_000000011CTRL/LLNO.urbA01

Obrázek 60 ITT600 povolení RCB bloku

No.	In	Timestamp	Source IED	S	V	B	C	IEC 61850 Path	Description	Value
1		13.5.2014 16:09:37.356	SIPROTEC					[ST] IED_000000011CTRL/QGGIO1.SPCS01.stVal		true
2		13.5.2014 16:10:23.957	SIPROTEC					[ST] IED_000000011CTRL/QGGIO1.SPCS01.stVal		false

Obrázek 61 ITT600 vyčítání signálu

Tímto jsme otestovali posílání a vyčítání signálu z IED SIPROTEC 7SJ64 do PC na bázi klient-server, pomocí software *ITT600 SA Explore*.



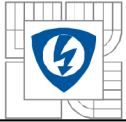
## 5.4 Srovnání engineeringových postupů

Tato kapitola se zabývá srovnáním engineeringových postupů u obou realizovaných systémů. V rámci prvního systému bylo potřeba nejprve otestovat MODBUS mapu v IED REM620. Díky software PCM600 jsou MODBUS signály pro IED předdefinovány a samotná mapa těchto signálů se do IED nahrává společně s dalšími konfiguračními soubory v CID souboru. Pro standardní testování není potřeba mapu dále upravovat. K testování byl použit program ModScan, který díky intuitivnímu ovládní představuje ideální nástroj k otestování MODBUS signálů z IED. V dalším kroku bylo třeba nakonfigurovat převodník Anybus. S vytvářením komunikace a jednotlivých uzlů pomáhá nástroj *Wizard*, který krok za krokem provádí uživatele konfigurací. Na druhou stranu nijak nekontroluje data zadaná uživatelem, což je třeba mít na paměti. Doporučuji před konfigurací převodníku zkontrolovat MODBUS mapu výše zmíněným programem ModScan a také mít připravený seznam IP adres všech IED, které do systému hodlá uživatel zapojit. MODBUS mapa připravená pro testovací účely této diplomové práce nebyla v programu *Anybus Configuration Manager* nijak dále upravována, z čehož lze usoudit, že pokud uživatel nepodcení přípravu, ušetří si práci s úpravou jednotlivých datových objektů. PROFIBUS síť představovalo PC a převodník *PROFIBUS DP Master simulator*. Pro vyčítání PROFIBUS signálu jsem použil software *PROFIBUS-DP Master Simulator*, který dokáže zobrazit datové adresy ve více tvarech. Díky hexadickému tvaru adres bylo možné vyčítat přesné hodnoty výkonu a fázového napětí na tři desetinná místa, díky úpravě parametru *Scale factor* uvnitř MODBUS mapy.

Pro realizaci druhého systému bylo prvně žádoucí nakonfigurovat SIPROTEC 7SJ64 pomocí software DIGSI. Zde byl vytvořen testovací signál a také rozhraní pro komunikaci IEC61850. Vzhledem k tomu, že oba tyto kroky probíhají v rámci jednoho software, má uživatel lehkou usnadněnou práci. IED po té byla připojena do ethernet switchu, stejně jako PC. Software *ITT600 SA Explorer* posloužil pro vyčítání signálu posílaného z IED. Práce s ním, stejně jako u ModScan, je velmi intuitivní a pro testování vertikální IEC61850 komunikace s IED od různých výrobců plně postačuje. Pro další práci doporučuji testování vertikální IEC61850 komunikace mezi IED od ABB a Siemens s využitím GOOSE.

Díky tomu, že jsem měl k dispozici dvě různá zařízení od firem, které si v této průmyslové oblasti na trhu konkurují, měl jsem možnost srovnat dvě filosofie přístupu ke konfiguraci IED. Software firmy ABB PCM600 sází na bohaté grafické rozhraní, díky kterému se uživatel v PCM600 snadno orientuje a získá tak přehled o většině nástrojů vcelku rychle. Pro ABB zařízení je možné zde vytvářet poměrně komplexní projekty. Na druhou stranu spolupráce se zařízeními od jiných výrobců není v podstatě podporována a je nutné využít dalších software. Komplexnost PCM600 se občas negativně projeví na plynulosti práce. Při vytváření komunikačních souborů je třeba všechny potřebné soubory dobře zálohovat, jedna chyba v postupu může vést k nevratným změnám a zmařené práci a v podstatě vytvoření celého projektu od začátku.

Design prostředí DIGSI je na první pohled strohý a nemá tolik přehlednou strukturu projektu jako PCM600. Pokud si ovšem uživatel osvojí základní návyky pro práci v tomto software, stane se z DIGSI rychlý nástroj pro vytváření konfigurací a komunikačních souborů, dokonce i od jiných výrobců IED. Ze své praxe nemohu posoudit náročnost přípravy komplexnějších projektů, ale stejně jako v PCM600 lze využít typových konfigurací, které lze modifikovat pro konkrétní potřeby projektu a značně tím práci urychlit.



Závěrem doporučuji dobře připravit podklady pro požadavky na komunikační rozhraní jednotlivých IED. Při použití stejných komunikačních rozhraní se značně usnadní práce s propojením celého systému.



## 6 LABVIEW

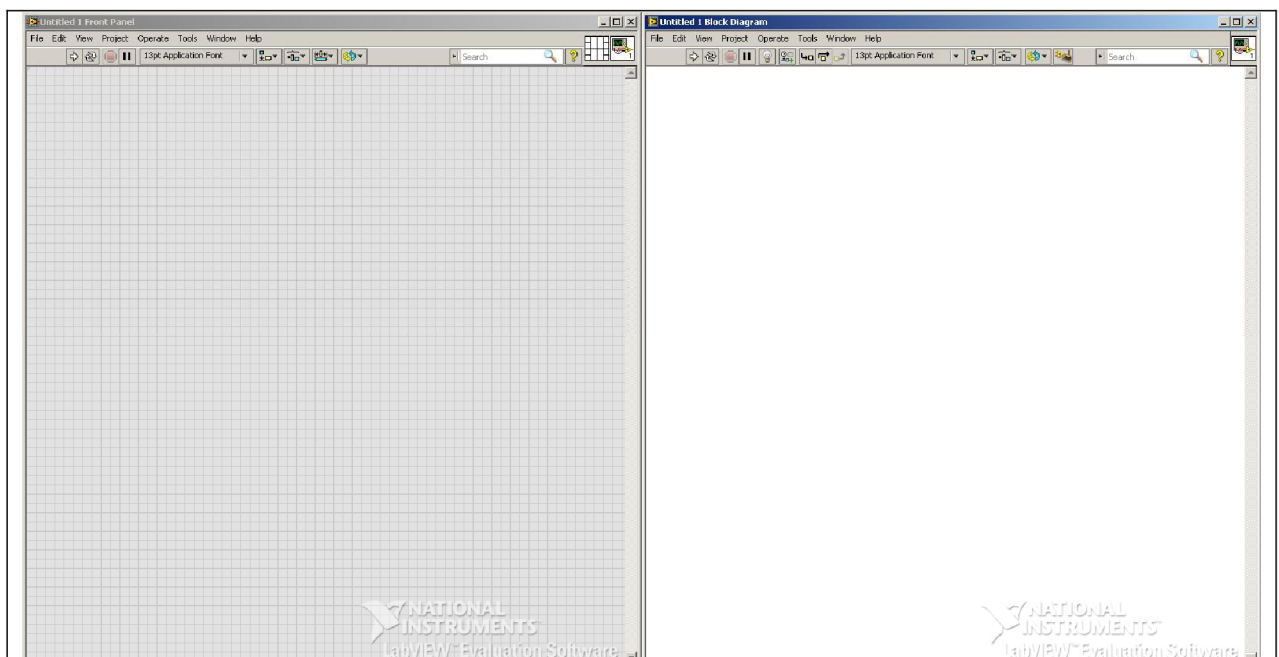
### 6.1 Popis software LabVIEW

Vývojové prostředí LabVIEW (*Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench*) je produktem americké firmy National Instruments. Tato firma se zabývá rozvojem virtuální instrumentace, technické disciplíny, která zaznamenává velký rozvoj v oblasti výzkumu a vývoje, a v neposlední řadě také ve školství jako výukový nástroj.

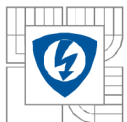
Prostředí LabVIEW reprezentuje grafický jazyk, který je vhodný nejen k vytváření programů pro měření a analýzu signálů, ale také pro složitější systémy, například ovládání robota.

Mezi hlavní přednosti LabVIEW patří náhrada hardware pomocí grafických a vizuálních prostředků. To umožňuje rychlé změny v konfiguraci programu, což v případě reálných součástek je velice nákladné a časově náročné.

Následující obrázek zobrazuje pracovní prostředí LabVIEW – levý panel představuje *Front panel*, na který se umisťují ovládací a zobrazovací prvky, pravý panel potom slouží k vytváření logik mezi jednotlivými funkčními bloky.[8]



Obrázek 62 LabVIEW - úvodní obrazovka



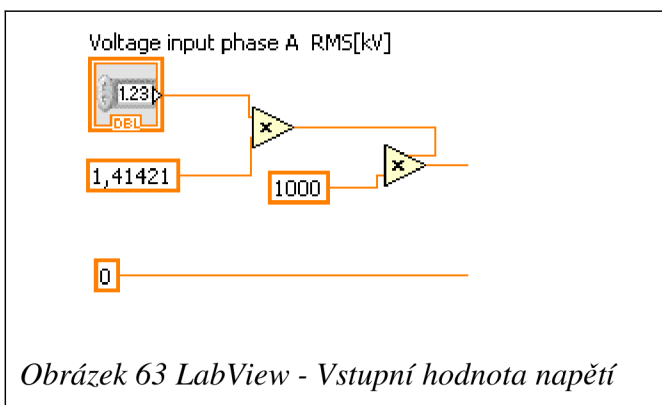
## 6.2 Vytvoření softwarové emulace ochrany

V rámci této diplomové práce jsem dostal za úkol vytvořit software emulaci ochrany pomocí nástroje LabVIEW. Tento úkol byl rozdělen na následující pod-úkoly:

- Vytvoření vstupního signálu proudu, napětí a frekvence pro vyhodnocování.
- Vytvoření ochran, které při nadproudu, přepětí a podpětí rozsvítí kontrolku.
- Vytvoření frekvenční ochrany.
- Vytvořit zpětnou wattovou ochranu, která porovnává fázový posuv proudu a napětí.

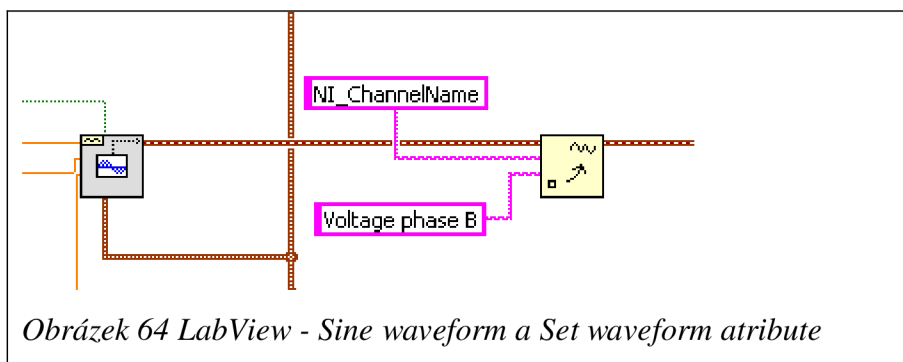
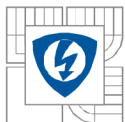
### Vytvoření vstupních signálů proudu, napětí a frekvence

Kompletní programová logika se v blokovém diagramu nachází uvnitř *While* cyklu. Zadáání vstupních hodnot je realizováno přes *Numeric control*, které nalezneme na paletě *Numeric*. Takto je vytvořeno zadávání hodnot proudu, fázového posunu proudu oproti napětí, napěťových vstupů a frekvence. Hodnoty napětí a proudu jsou zadávány v efektivních hodnotách. Na následující obrázku je příklad vstupní hodnoty napětí pro fázi A. Vstupní hodnota zadaná uživatelem je vynásobená  $\sqrt{2}$  (efektivní hodnota) a poté ještě 1000, což reprezentuje převod na kV. Hodnota 0 nakonec představuje fázový posuv.



Signály jsou dále přivedeny do bloku *Sine waveform.vi*, konkrétně na jeho vstupy pro amplitudu, fázi a frekvenci. Dle názvu tento funkční blok převádí vstupní signál na funkci sinus. Všechny tyto bloky jsou mezi sebou spojeny signálem *Sampling info*. Na vstup *Reset signal* je převeden signál z tlačítka *Set*. Toto zaručuje reset signálů na vstupech bloku, zvláště při nastavení fázového posunu proudu.

Výstupní signál *Signal out* je přiveden do bloku *Set waveform attribute*, který dále přenáší signál s atributem pro vyhodnocování daného signálu. Dále jsou na vstup této funkce přivedeny parametry pro zobrazení názvu signálu v grafu.

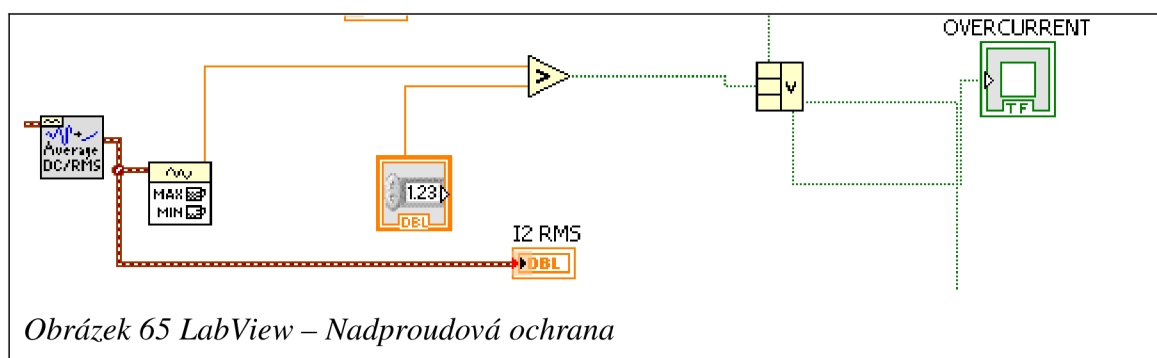


Výstup z funkce *Set waveform atribute* je přiveden do logického bloku *Build array*, které najdeme na paletě *Array*. Výstup z tohoto pole je přiveden do grafu – funkce v rámci LabVIEW

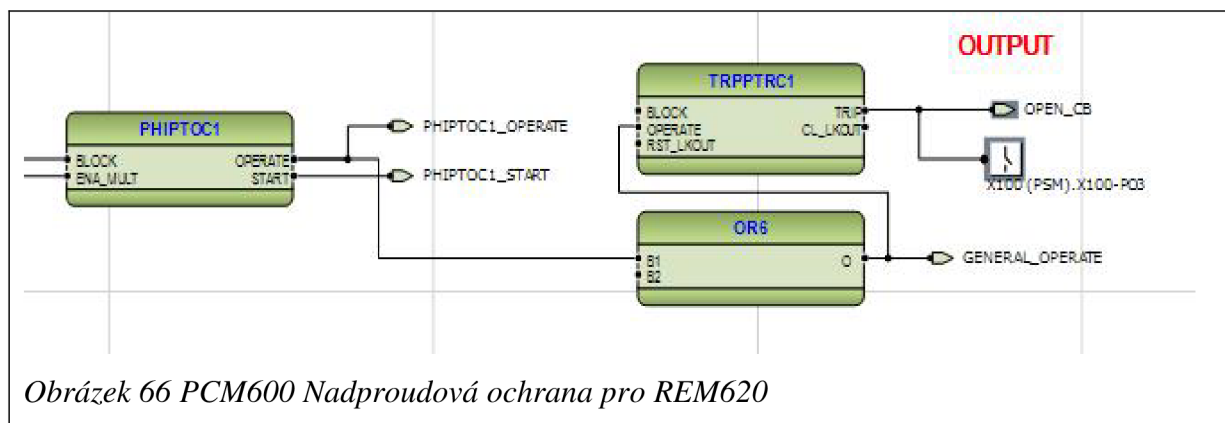
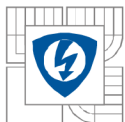
### Vytvoření ochran

Signál z funkce *Set waveform atribute* je přiveden do bloku *Average DC-RMS.vi*, který převádí vstupní signál na efektivní hodnoty. Tohoto využíváme pro porovnávání hodnot v rámci ochranných funkcí. Výstup *RMS Value waveform* je přiveden jednak do *DBL Numeric Constant*, kterou najdeme na paletě *Numeric functions* a indikuje naměřenou hodnotu, jednak do funkce *Waveform Min Max.vi*, která z podstaty svého názvu filtruje maximální a minimální hodnoty.

Pro nadproudovou ochrannou funkci využíváme maximální naměřenou hodnotu. Ta je dále porovnávána pomocí logické funkce *Greater* s hodnotou, kterou uživatel nastaví na předním panelu programu v menu *Protection functions setting – Overcurrent Threshold* pro danou fázi proudu. Pokud je hodnota naměřeného signálu větší, než nastavená prahová hodnota, je výstup z logické funkce *Greater* nastaven na *True* a postupuje do bloku *Compound arithmetic*. Tento blok má tři vstupy (pro každou proudovou fázi jeden), a pokud aspoň jeden vstupní signál má hodnotu *True*, je výstupem také *True* a posílá signál na kontrolku *Overcurrent*.

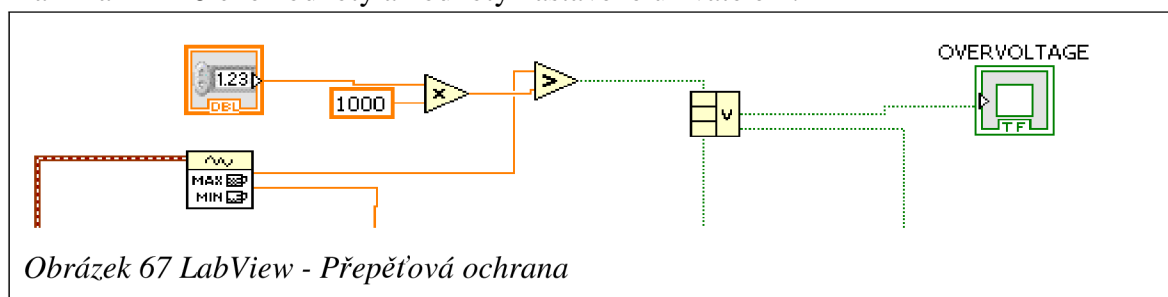


Další obrázek zobrazuje zapojení nadproudové ochrany v software PCM600 pro ochranný terminál ABB REM620.



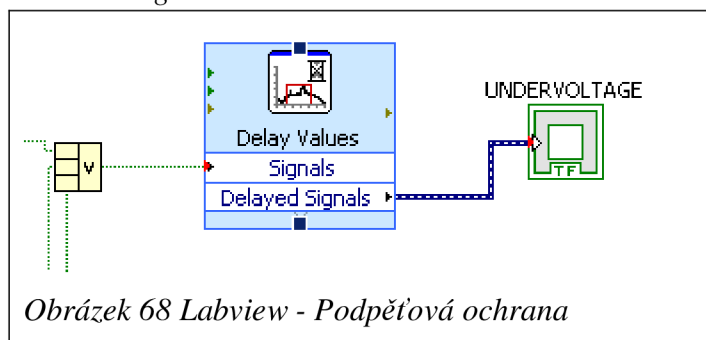
Obrázek 66 PCM600 Nadproudová ochrana pro REM620

Pro ochranu proti přepětí je využit stejný princip jako u ochrany nadproudové, tedy porovnávání maximální změřené hodnoty a hodnoty nastavené uživatelem.



Obrázek 67 LabView - Přepětěová ochrana

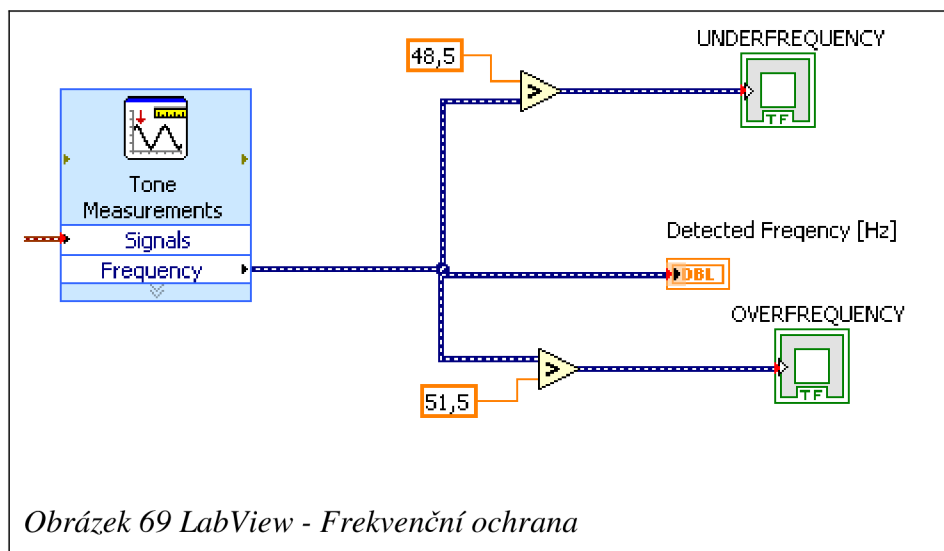
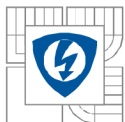
Pro ochranu proti podpětí opět porovnáváme hodnoty změřené blokem *RMS Value waveform* a hodnotu nastavenou uživatelem. Signály všech fází napětí jsou sdružené v bloku *Compound arithmetic*. Výstup tohoto bloku je přiveden do funkce *Delay values*, která přidrží vstupní signál podle nastavené hodnoty v milisekundách. Po té pošle signál na kontrolu *Undervoltage*.



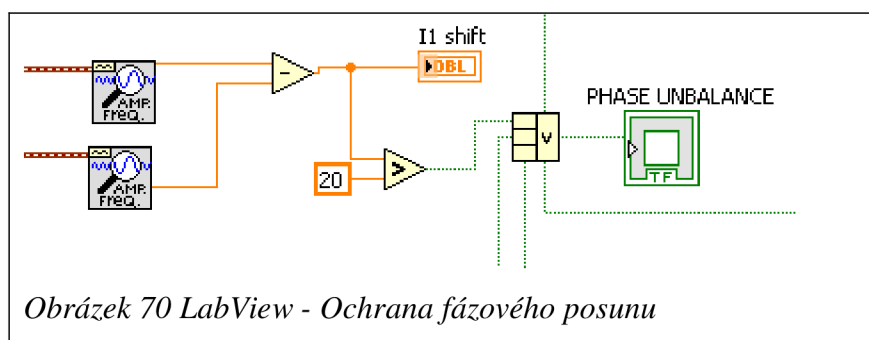
Obrázek 68 Labview - Podpětěová ochrana

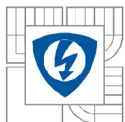
Frekvenční ochranná funkce je dimenzovaná pro standardní frekvenci 50 Hz. Signál pro ochrannou funkci je vyveden z funkce *Sine waveform.vi*. Protože frekvence je stejná pro všechny fáze napětí a proudu, stačí pouze jeden signál. Ten je dále přiveden do funkce *Tone Measurement*. Tato funkce porovnává hodnoty amplitudy vstupního signálu a převádí je na vzorky (*Samples*), které posílá na výstupu dále. Pokud je hodnota tohoto výstupního signálu menší, než 48.5 Hz, nebo naopak větší než 51.5, objeví se na příslušné logické funkci *Greater* signál *True*, který rozsvítí kontrolku *Underfrequency*, resp. *Overfrequency*. Hodnotu frekvence zadává uživatel na předním panelu.





Jako poslední z ochranných funkcí je v programu vytvořena zpětná wattová ochrana. Ta porovnává fázový posuv mezi příslušnými fázemi proudu a napětí. K měření fázového posuvu je použita funkce *Extract Single tone.vi*. Výstup této funkce *Detected phase(deg)* pro fázi proudu a napětí je přiveden do logické funkce *Subtract*. Výstup vede jednak do *DBL Numeric Constant* pro indikaci hodnoty na předním panelu, jednak dále na vstup logické funkce *Greater*. Pokud je hodnota tohoto signálu větší, než 20, na výstupu *Greater* se objeví hodnota *True* a postupuje dále do bloku *Compound arithmetic*. Výstupem z tohoto bloku je signál, který je připojen na kontrolku *Phase Unbalance*. V praxi se tato ochrana používá například při chránění generátoru nebo motoru. Předbíhání proudu před napětím způsobí zpětný tok výkonu, tedy přenos energie z generátoru do turbíny nebo z motoru do sítě, což je ovšem nežádoucí, protože mohou být poškozeny připojené přístroje. Zpětný tok výkonu bývá způsoben například chybnou výkonovou regulací nebo nevyváženou energetickou bilancí sítě.





## 7 ZÁVĚR

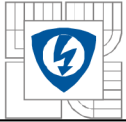
Obsahem této práce bylo zpracování tématu chránění a vzdálené řízení VN rozvodny s použitím ochranných terminálů od firem ABB a Siemens s komunikací IEC61850 a PROFIBUS.

V první části čtenář najde teoretický úvod do komunikačního standardu IEC61850, a dále komunikačních protokolů PROFIBUS a MODBUS. Jednotlivé podkapitoly představují tyto protokoly a lze získat základní povědomí jak o organizaci dat v jednotlivých protokolech, tak i o jejich přenosových rozhraních. Cílem této části je lehký úvod do dále probírané problematiky.

V další části jsou představena zařízení od firem ABB, Siemens a HMS. Konkrétně se jedná o ochrany REM620, SIPROTEC 7SJ64 a převodník Anybus. V podkapitole o IED REM620 je pojednáno o konfiguraci této IED v PCM600 a spolupráci se standardem IEC61850. Navazující podkapitola představuje popis zařízení HMS *Anybus Communicator* a datový model využívaný pro přenos dat mezi *subnetwork* reprezentovanou MODBUS daty a sítí PROFIBUS. Poslední kapitola této části představuje SIPROTEC 7SJ64 a jeho komunikační rozhraní.

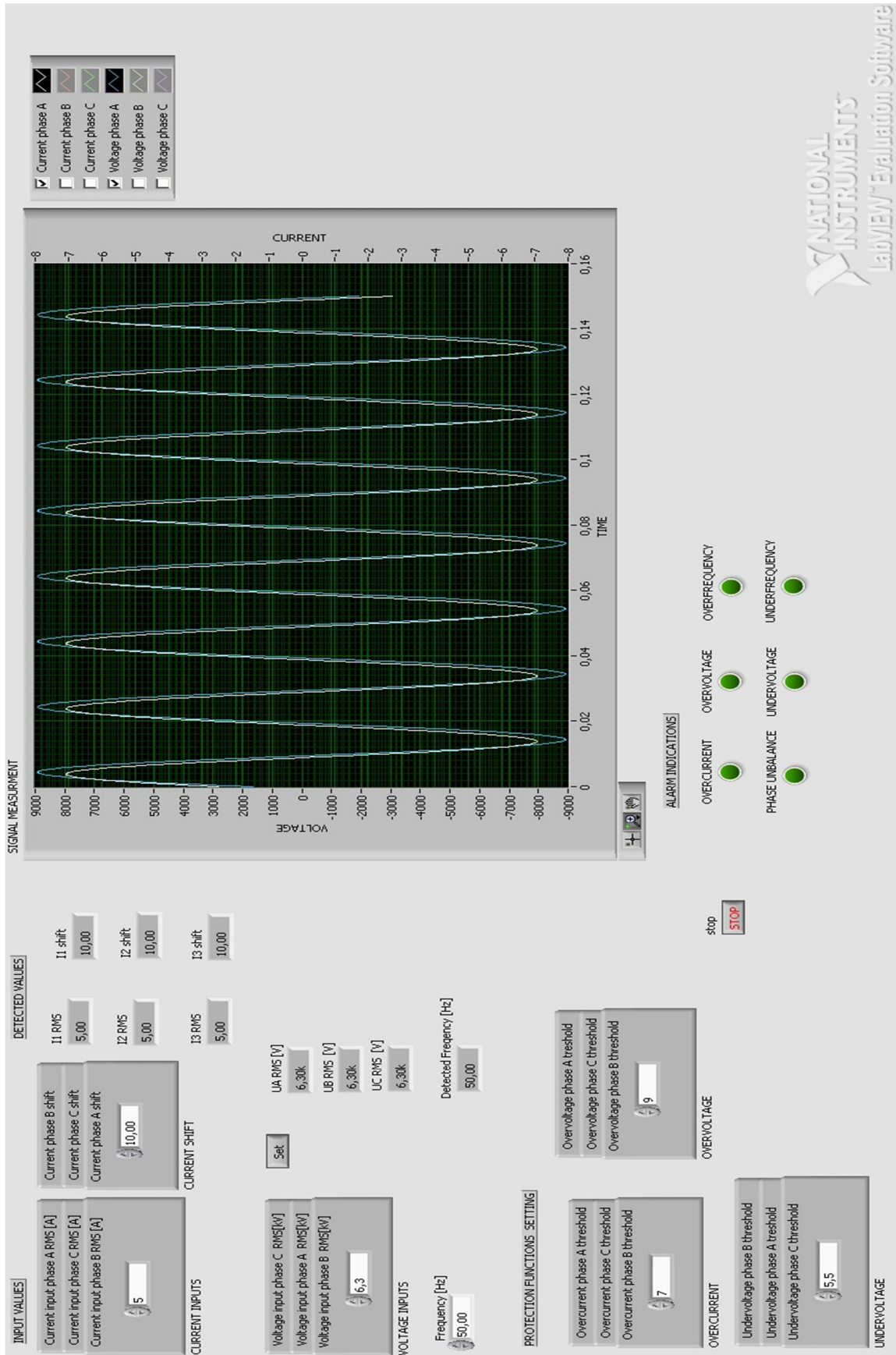
Pátou kapitolou začíná praktická část této práce. Byly navrženy a realizovány dva systémy ochrany: jeden se zapojením IED REM620 do sítě PROFIBUS pomocí Anybus převodníku a druhý s IED SIPROTEC 7SJ64 a vertikální komunikací IEC61850. Jednotlivé kroky konfigurací zařízení a testování protokolů jsou popsány v příslušných podkapitolách. Oba tyto systémy se podařilo i přes drobná úskalí v podobě odlišných komunikačních rozhraní realizovat a otestovat pomocí signálů pro vyčítání a posílání příkazů. Poslední podkapitola této části shrnuje postupy engineeringu pro oba systémy a autor práce přidává některé své podmínky pro další práci.

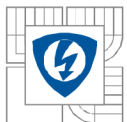
Poslední kapitola před závěrem popisuje práci v nástroji LabVIEW. V tomto nástroji byla vytvořena softwarová emulace ochrany, kde má uživatel možnost zadávat vstupní hodnoty měřených veličin (proud, napětí, frekvence) a měnit prahové hodnoty jednotlivých ochranných funkcí. Měřené veličiny jsou zobrazovány v grafu.



# PŘÍLOHY

## PŘÍLOHA A – LabVIEW Front panel





## LITERATURA

- [1] FORGUE B., VLADYKA P. *IEC 61850: Soubor norem pro komunikaci v energetice s velkým potenciálem výhod.* [online]. s. 3. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=40771](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40771)
- [2] MACKIEWICZ, R.E. *Overview of IEC 61850 and Benefits.* [online]. s. 8. Dostupné z: <http://morse.colorado.edu/~tlen5830/ho/Mackiewicz06IEC61850.pdf>
- [4] PROFIBUS INTERNATIONAL SUPPORT CENTRE. *PROFIBUS: Technology and Application.* 10/02. Německo, 2002, 41 s.
- [5] ABB. *620 Series: Engineering Manual.* 2.0. Finsko, 2013, 128 s.
- [6] HMS. *Anybus Communicator for PROFIBUS: User's Manual.* 3.01. Švédsko, 2011, 80 s.
- [7] PATEL, Nikunj. *IEC 61850 horizontal goose communication and overview: IEC 61850 horizontal communication, goose messaging and documentation. IEC 61850 Standard Overview and understanding.* Saarbrücken: Lambert, 2011, 94 s. ISBN 978-3-8465-4632-1.
- [8] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. 1. vyd. Ilustrace Viktorie Vlachová. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 247 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [9] HALUZÍK, E. *Ochrany a automatiky v elektrických sítích.* Brno, 1985. Skripta VUT, 160 s.
- [10] ABB. *IEC61850 in ZX Gas-insulated medium voltage switchgear.* Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/8dfc9e7017ab4fb6c125764700470fed/\\$file/2452\\_iec%2061850%20in%20zx\\_en\\_.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/8dfc9e7017ab4fb6c125764700470fed/$file/2452_iec%2061850%20in%20zx_en_.pdf)
- [11] YINGYI, L. a R. CAMPBELL. *Understanding and Simulating the IEC61850 standard.* s. 12. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.176.5160&rep=rep1&type=pdf>
- [12] STRAUSS, Cobus. *Practical electrical network automation and communication systems.* Burlington, MA: Newnes, 2003, ix, 200 p. ISBN 07-506-5801-0.
- [13] ABB. *620 Series: IEC 61850 Engineering Guide.* s. 60. Dostupné z: [http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/d8edc031e801bbb1c1257721004717af/\\$file/re\\_620\\_iec61850\\_eng\\_756475\\_ene.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/d8edc031e801bbb1c1257721004717af/$file/re_620_iec61850_eng_756475_ene.pdf)
- [14] SIEMENS. *SIMATIC NET: PROFIBUS Networks: Manual.* s. 490.
- [15] SIEMENS. *FAQs on PROFIBUS DP.* Manual. s. 9.
- [16] SIEMENS. *Siprotec 4: Multifunction protection with control.* Manual. s. 43.
- [17] ABB. *Protection and control IED manager PCM600.* Manual. s. 16.