



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra telekomunikační techniky

Bakalářská práce

**Komunikační systémy pro realizaci datových
přenosů v elektroenergetice**

Vedoucí práce: Ing. Petr Jareš, Ph.D.

Autor práce: Jaroslav Tomšů

Praha 2014

Vložené zadání

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma Komunikační systémy pro realizaci datových přenosů v elektroenergetice vypracoval samostatně s přispěním vedoucího práce a použil jsem pouze literaturu uvedenou v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 23. 5. 2014

.....

Jaroslav Tomšů

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Jarešovi, Ph.D. za zapůjčení materiálů, za cenné připomínky a odborné rady při tvorbě této práce.

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou komunikačních technologií a komunikačními protokoly v oblasti elektroenergetiky a průmyslu. Úvod práce je zaměřen na využití „inteligentních sítí“ v elektroenergetice. V další části jsou zpracovány významné komunikační protokoly a technologie využívané pro přenos dat v elektroenergetice. Cílem praktické části práce bylo zjistit u vybraných technologií způsob a konkrétní parametry přenosu dat. V závěru práce je shrnutí řešené problematiky s provedením doporučení o vhodnosti jednotlivých typů technologií pro konkrétní části elektroenergetické sítě.

Klíčová slova: komunikační protokoly v elektroenergetice, ethernet, paketová síť, signál E1, Serial over IP

Summary:

This bachelor thesis deals with problematic of communication technology and communication protocols in the field of an industry and an electrical power engineering. Outset is focused on usage of smart grids in electrical power engineering. In the following part there are explained major communication protocols and technologies used for transfer of data in electrical power engineering. Goal of the practical part of this thesis was to determine manner and parameters of data transfer, with chosen technologies. In the end of this bachelor thesis there is a summarization of dealt problematic with recommendation of suitability of individual technologies for specific part of electricity network.

Index Terms: communication protocol in electrical power engineering, ethernet, packet switched network, E-carrier, Serial over I

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Komunikační systémy v elektroenergetice.....	10
2.1 Inteligentní sítě Smart Grids	10
2.1.1 Využití v ČR	10
2.2 Průmyslový ethernet.....	11
2.3 Technologie VDSL2.....	12
2.4 Hierarchie PDH.....	12
2.5 Struktura signálu PCM 1. řádu (E1).....	13
2.6 Zapouzdření signálu E1 do IP paketů (TDMoIP)	13
2.7 Technologie pro sériovou komunikaci sběrnici RS 232	14
2.8 Hierarchie SDH	15
2.9 Systém SCADA.....	16
3. Protokoly využívané pro přenos zpráv v elektroenergetice.....	18
3.1 Standard IEC 61850.....	18
3.2 Standard IEC 60870-5	19
3.3 Protokol HSR (IEC 62439-3)	20
3.4 Protokol PRP (IEC 62439-3).....	21
3.5 Standard PROFINET (IEC 61158)	22
3.6 Doporučení ITU-T G. 8032	23
3.7 Spanning Tree Protocol a jeho varianty.....	24
4. Zařízení pro průmyslové sítě	26
4.1 Výrobci prvků pro průmyslové komunikační sítě	26
4.2 Důležité parametry	27
4.3 Síťový prvek Westermo EDW-100	27
4.4 Síťový prvek Westermo L208-F2G-S2	28
4.5 MOXA IEX-402-VDSL2	29
5. Zapouzdření sériového signálu do ethernetových rámců.....	30
5.1 Měření s prvkem Westermo L208-F2G-S2.....	30
5.2 Měření s prvkem Westermo EDW-100.....	33
6. Měření parametrů přípojky VDSL2 s prvky MOXA IEX-402-VDSL2	35
6.1 Výkonnost přenosu přípojky VDSL2 v závislosti na délce bez translátorů	35
6.2 Výkonnost přenosu přípojky VDSL2 v závislosti na délce vedení s translátory	36
6.3 Využití pásma pro přenos, spektrální maska PSD.....	37

6.4	Odolnost vůči impulsnímu rušení se šumovým pozadím AWGN	38
6.5	Odolnost vůči impulsnímu rušení se šumovým pozadím ETSI B	42
7.	Komunikační systémy pro realizaci datových přenosů v elektroenergetice	45
8.	Závěr	48
	Seznam zkratk.....	49
	Seznam obrázků a tabulek.....	51
	Seznam použitých zdrojů.....	53
	Seznam příloh	55

1. Úvod

Tato bakalářská práce, na téma „Komunikační systémy pro realizaci datových přenosů v elektroenergetice“ pojednává o možných způsobech přenosu a realizaci jistoty doručení důležitých varovných a řídicích zpráv. Součástí práce je rešeršní část, která se zaměřuje na známé standardy využívané v této oblasti. Součástí je popis jednotlivých řešení a znázornění zpracování problému. V úvodní části jsou popsány funkce energetických sítí budoucnosti, takzvaných Smart Grids. Využití těchto sítí se zaměřuje na koncové uživatele, kdy nespornou výhodou je řízení spotřeby, využívání alternativních zdrojů energie a možnost centrálního dohledu a správy takto vytvořených sítí. V kapitole o Smart Grids je také zmíněn testovací projekt této technologie společnosti ČEZ v České republice. Zároveň je popsána struktura základního signálu PCM 1. řádu. Jedná se o signál, který se využívá k základnímu přenosu hovorového signálu v telekomunikační síti s principy časového multiplexu. Dnes je také možné tento signál přenášet skrz paketově orientovanou síť. V úvodní části práce jsou také popsány základní systémy využívané pro přenos na dlouhé vzdálenosti, jako jsou PDH a SDH. Na závěr úvodní kapitoly je uveden řídicí a dohledový systém SCADA.

V následující kapitole jsou rozebrány jednotlivé protokoly využívané pro přenos zpráv v elektroenergetice a samozřejmě i v jiných odvětvích (například průmyslové sběrnice). Práce se věnuje standardům typu IEC 61850, které mají využití v oblasti elektrických rozvodů a ochran a standard IEC 60870-5 pro dálkové řízení. Je zde také zmínka o redundantních protokolech zajišťující neustálou dostupnost sítě a v případě potřeby umožňují zajistit náhradní cestu spojení a přenosu dat. V případě více cestných zapojení, lze aplikovat protokoly, které nám zajistí dostupnost v rámci jedné cesty a případně při výpadku určí a nasměruje pakety na alternativní cestu, je-li k dispozici. V této části je zmíněna i průmyslová sběrnice převážně využívaná pro automatizaci, kterou využíváme pro řízení elektráren.

V následující kapitole jsou vypsány jedny z hlavních parametrů síťových prvků a zařízení používaných v elektroenergetice, na které bychom měli brát ohledy. Zároveň je sepsán přehled předních výrobců těchto zařízení a informace o jejich specializacích. Podrobně zpracovány jsou prvky použité v praktické části této práce a v provedených měřeních.

V praktické části jsou realizována dvě měření. Nejprve měření s prvky od firmy Westermo, které nám sloužily pro přenos dat ze sériové sběrnice prostřednictvím paketové sítě. Cílem tohoto měření bylo zjistit, jakým způsobem jsou data ze sériové sběrnice baleny do paketů a odesílány do sítě a na druhé straně přijímána a detekována. Přenos probíhal pomocí protokolů TCP nebo UDP. Měření bylo realizováno na přepínači L208-F2G-S2 se sériovým rozhraním a následně přímo pomocí konvertorů EDW-100.

Druhé měření má ukázat jakým způsobem je řešena výkonnost přenosu skrz VDSL2 technologii. Síťové prvky Moxa umožňují přenášet data z rozhraní ethernetu prostřednictvím VDSL2. Měření bylo prováděno při různých délkách vedení, při zapojení s translátory i bez a zároveň pomocí generátoru bylo injektováno rušení do vedení, aby se zjistil vliv na přenos a přenosovou rychlost. Zároveň byla sledována chybovost přenášených rámců.

Poslední kapitola stručně popisuje a charakterizuje energetickou síť v České republice a navrhuje, v jakých částech sítě naleznou jednotlivé protokoly, technologie a standardy popsané v úvodních kapitolách uplatnění.

2. Komunikační systémy v elektroenergetice

V rámci vyvíjení nových technologií v oblasti elektroenergetiky je potřeba zrealizovat přenos zpráv mezi jednotlivými prvky v síti. Jedná se o bezpečnostní prvky elektrické rozvodné sítě, prvky pro regulaci dodávané energie od obnovitelných zdrojů (solární panely, větrné elektrárny a další). Hlavním účelem komunikace je kolísání dodávek energie v případě obnovitelných zdrojů. Tyto systémy slouží pro regulaci elektroenergetické sítě, aby nedocházelo k výpadkům nebo přepětí.

2.1 Inteligentní síť Smart Grids

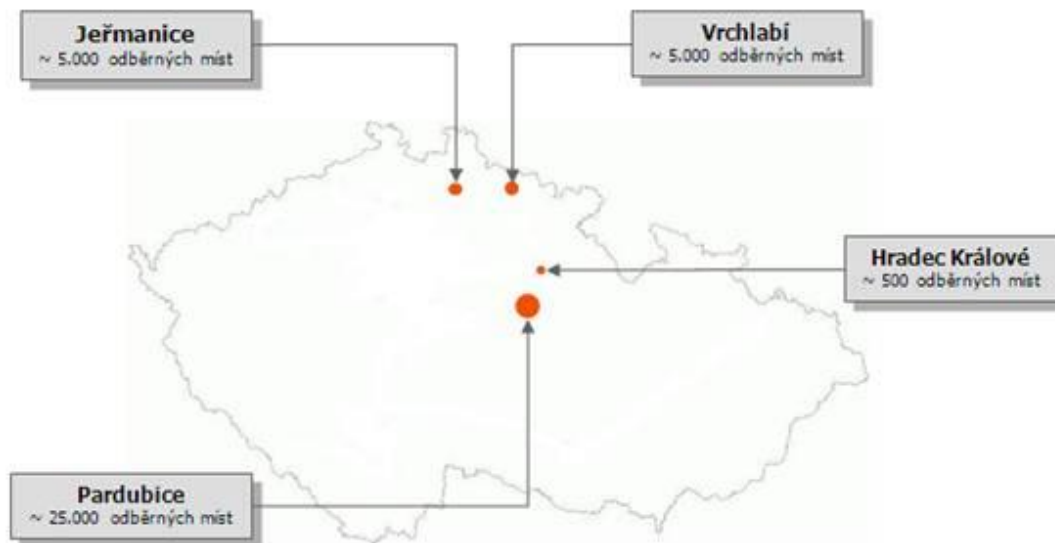
Inteligentní síť označované termínem Smart Grids využívají propojení energetických sítí a telekomunikačních prostředků, pro „inteligentní“ využití potenciálu elektroenergetické sítě. Jednat se může jak o lokální síť, jako například správa a ovládání v rámci inteligentní budovy nebo také o geograficky rozlehlou síť. Příkladem může být kontrola a řízení distribuce elektrické energie až ke koncovým uživatelům. Nejedná se pouze o elektrickou energii, ale také rozvody plynu, tepelné energie, vodárenskou distribuční síť a další oblasti důležitých zdrojů. Hlavní požadavek na síť Smart Grids je přenos informací v reálném čase. K tomu nám slouží zavedené komunikační protokoly upravené a přizpůsobené na přenos zpráv ať po energetických sítích, tak po optických, koaxiálních a dalších vedeních.

V dnešní době je kladen důraz na ekologii, a proto je snaha co nejvíce využívat obnovitelné zdroje. Dříve byla jednoznačně dána struktura elektrické rozvodné sítě, od elektrárny byla energie distribuovaná ke koncovým uživatelům. Tento způsob přenosu připomíná stromovou strukturu. Nyní máme v distribuční síti na různých koncích a v různých místech příspěvky od solárních, větrných a dalších elektráren. Problém nastává v nepravidelných příspěvcích těchto zdrojů. Proto zavádíme síť Smart Grids, abychom mohli regulovat příspěvky jednotlivých zdrojů a udržet v síti stálý stav.

2.1.1 Využití v ČR

V České republice se touto oblastí zabývá jedna z největších firem v oblasti distribuce elektrické energie společnost ČEZ. Co se týká výrobců elektrických zařízení, tak se na tuto problematiku zaměřují firmy ABB, Siemens a další. Důležitý nárůst nastal v době zavádění fotovoltaiky na českém území. Bylo potřeba vybudovat síť a v rámci pilotního projektu zahájit integraci těchto systémů.

Jako jeden z prvních vznikl pilotní projekt firmy ČEZ, které se povedlo síť Smart Grid zavést v oblasti města Vrchlabí. Celý tento projekt propagují pod názvem Smart Region. Projekt probíhá od roku 2010 a jeho ukončení je plánované na rok 2015, poté bude provedeno vyhodnocení [1]. Mezi cíle projektu patří hlavně modernizace distribuční sítě, schopnost regulovat síť podle aktuální potřeby zákazníků. V budoucnosti výstavba dobíjecích stanic pro elektromobily a centrální zásobování teplem. Přináší ekologičtější energii, možnost zákazníků sledovat aktuální spotřebu díky inteligentním měřidlům. Méně časté výpadky elektřiny díky rychlému obnovení trasy pro dodávky.



Obr. 1 Místa zavedení inteligentních elektroměrů ČEZ [1].

Jako další součást zavádí firma ČEZ inteligentní elektroměry. Jak vidíme na Obr. 1 zatím probíhá testování těchto zařízení ve čtyřech městech.

2.2 Průmyslový ethernet

Historie průmyslového ethernetu sahá až k 80. letům minulého století. V počátcích byl použit stejný typ ethernetu jako pro kancelářské sítě podle standardu 802.3. Jelikož v průmyslu je kladen větší důraz na spolehlivost a komunikaci v reálném čase, síťové prvky musí vydržet vyšší teploty, nemají ventilátory a musí být pevně připevněny na liště. Huby a přepínače průmyslového ethernetu jsou napájeny 24V/48V DC oproti klasickým IT zařízením, která jsou obvykle připojena na síťové napětí 230V AC.

Architektura sítě průmyslového ethernetu a tzv. ethernetu pro kancelářské použití, je v podstatě shodná. Dnes je nejčastěji využívána hvězdicová topologie s využitím redundance cest, abychom odstranili případné výpadky sítě. K tomuto nám slouží protokoly jako například *Spanning Tree Protocol (STP)* nebo jeho vylepšená verze *Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)* o kterých se zmíním v kapitole 3.7.

Standard ethernet využívá nedeterministickou metodu přenosu CSMA/CD u 10BASE-T, která je schopna přenášet pakety pouze ve chvíli, kdy nevysílá žádná jiná stanice v síti. Od 100BASE-T využívá metodu full duplexu. Metoda CSMA/CD není vhodná pro průmyslový ethernet z důvodu požadavku na přenos v reálném čase. Termín reálný čas v komunikaci je důležitý ze dvou hledisek. Jedno je schopnost zpracovávat signál z více vstupů v jeden okamžik. Druhý požadavek je včasná reakce řídicího systému podle časových požadavků a parametrů řízeného procesu. Pro zrychlení komunikace se u průmyslového ethernetu, který pracuje na druhé vrstvě RM ISO/OSI, využívá i dalších vrstev RM ISO/OSI. Například 4. vrstvy RM ISO/OSI a jejich protokolů pro transport, kdy protokol UDP na rozdíl od protokolu TCP nenavazuje spojení a nepotvrzuje přijatá data, v případě chyby jsou data

přeneseny hned v dalším přenosu. Dále můžeme využívat prioritních portů, kdy na druhé vrstvě RM ISO/OSI modelu je přidáno do rámce pole tag, které nám určuje prioritu.

Průmyslový ethernet využívá obdobná přenosová media na fyzické vrstvě, jako ethernet klasické koncepce. Obvykle se využívají metalické symetrické páry nebo optická vlákna na bázi SiO₂. Pro realizaci metalických přenosových traktů se využívá prověřená koncepce strukturované kabeláže. V závislosti na požadovaných parametrech přenosu je možné využít základní metalické kabely označované jako UTP (*Unshielded Twisted Pair*). V případě nutnosti zvýšit odolnost vůči externím zdrojům elektromagnetického rušení jsou k dispozici metalické kabely souhrnně označované jako STP (*Shielded Twisted Pair*). Je zřejmé, že v prostředí elektroenergeticky se významnějším způsobem uplatní optická vlákna. A to především díky své odolnosti vůči okolním zdrojům elektromagnetického rušení. Optická vlákna ze své podstaty také umožňují galvanické oddělení jednotlivých síťových prvků, což hraje významnou roli v bezpečnosti provozu.

2.3 Technologie VDSL2

Technologie VDSL2 (*Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line*) je určena pro realizaci datových přenosů na větší vzdálenosti prostřednictvím metalických symetrických párů. Technologie VDSL2 umožňuje využívat šířku pásma až do 30 MHz. VDSL2 je standardizována v doporučení ITU-T G.993.2. Nejčastěji je využívána DMT (*Discrete Multitone Modulation*) modulace, která nám umožňuje velmi úzce střídat pásma pro upstream a downstream bez velkých ochranných pásem mezi sub pásmy. Může dosáhnout přenosových rychlostí až 100 Mbit/s.

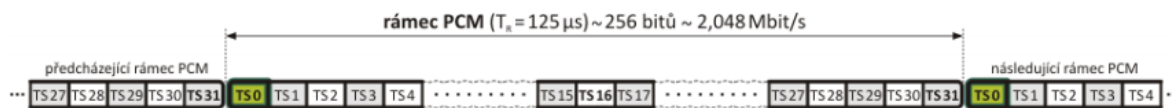
Přenosová rychlost se mění v závislosti na délce přenosové cesty, jejího útlumu a na typu použité masky spektrální výkonové hustoty. Podle typu zvolené masky lze určit, jaký režim přenosu je zvolen. Existují dva režimy přenosu s asymetrickými přenosovými rychlostmi nebo se symetrickými přenosovými rychlostmi.

2.4 Hierarchie PDH

Hierarchie PDH (*Plesiochronní digitální hierarchie*) vytváří soustavu signálů vyšších řádů, umožňující přenos většího počtu telefonních signálů než umožňuje digitální tok PCM 1. řádu (PCM 30/32) a umožňuje přenos dat vyššími přenosovými rychlostmi. Hierarchie je označována jako plesiochronní, protože sdružované signály nižších řádů nemají pevně definovaný časový vztah k signálům vyšších řádů. V signálu vyššího řádu je navíc vyčleněna rezerva pro odchylky přenosových rychlostí, protože se nepředpokládá přesný časový souběh sdružovaných signálů. U PDH probíhá prokládání sdružovaných signálů po jednotlivých bitech do rámce signálu nadřazeného a není mezi rámcem nižšího a rámcem vyššího signálu definován žádný vztah. Signály nižšího řádu získáme zpět postupným demultiplexováním signálu vyššího řádu, při vícenásobném opakování multiplexování a demultiplexování může dojít ke zhoršení signálu.

2.5 Struktura signálu PCM 1. řádu (E1)

Přenášené signály jsou sdružovány do jednoho rámcu, který má přesně definovanou strukturu, včetně služební, synchronizační a signalizační informace. Struktura je definována v doporučení ITU-T G.704. Doba trvání jednoho rámcu je 125 μ s. Pro evropskou oblast má tento rámeček 32 osmibitových kódových skupin. Lze se také setkat s označením PCM 30/32 nebo E1. Označení PCM 30/32 nám říká, že je možné přenést 30 telefonních kanálů a 2 kanály sloužící pro účely signalizace, synchronizace a přenosu služební informace.



Obr. 2 Struktura rámcu PCM 1. řádu [16].

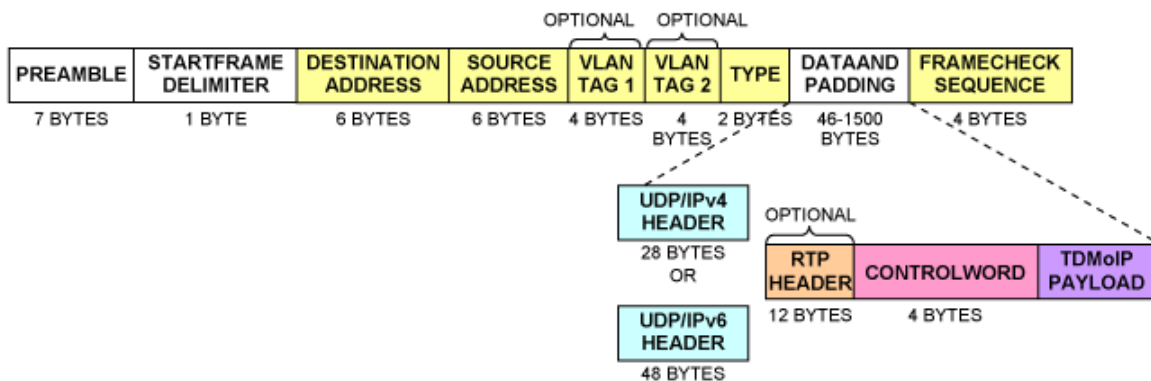
Na Obr. 2 je znázorněna struktura rámcu PCM. Na začátku každého rámcu je nulový kanálový interval TS0, který obsahuje synchronskupinu. Každý sudý rámeček obsahuje v rámci intervalu TS0 synchronskupinu rámcového souběhu označenou FAS a každý lichý rámeček obsahuje synchronskupinu bez rámcového souběhu NFAS, která přenáší služební informaci jako je poplachový signál, ztráty rámcového souběhu, bity nesoucí informaci o národním použití. Všechny další intervaly TS1- TS15 a TS17-TS31 obsahují hovorové kódové skupiny, ve kterých je přenášen vzorek hovorového signálu. Samozřejmě mohou být přenášena i data místo hovoru. V intervalu TS16 je synchronskupina multirámcového souběhu (MFAS) a signalizace všech telefonních kanálů. Pro detekci chyb při přenosu je využíván kód CRC (*Cyclic Redundancy Check*).

Struktura PCM signálu 1. řádu pro USA (DS1) je odlišná od evropské. Má stejnou časovou základnu 125 μ s, ale obsahuje pouze 24 kanálů. V každém kanálu je 7 bitů pro přenos dat nebo hovoru a poslední bit je využit pro signalizaci. Na konec rámcu za všech 24 kanálů je přidán jeden bit označovaný F, který zajišťuje synchronizaci rámcu FAS.

2.6 Zapouzdření signálu E1 do IP paketů (TDMoIP)

TDMoIP (*Time Division Multiplexing over IP*) představuje technologii, která nám umožňuje přenášet signál přes paketově orientovanou síť. Za signál TDM považujeme signál E1, případně E3. Tento způsob přenosu signálu E1 využíváme zejména pro spojení klasických telefonních ústředěn nebo vytvoření spojení lokálních poboček firem a podobně. Při přenosu signálu je potřeba zajistit dostatečnou propustnost sítě, prioritu těmto paketům v síťových uzlech a obnovu taktu na přijímací straně. [23]

Komunikace probíhá přes rozhraní ethernet, s využitím IP směrování a přenosu v rámci čtvrté vrstvy RM ISO/OSI modelu bezspořivým protokolem UDP. Každá komunikační vrstva přidá své záhlaví a tím se zvýší nároky na přenos a je nutno mít větší přenosovou kapacitu než byla původní kapacita přenosového kanálu. Z hlediska signalizace v rámci signálu E1 proběhne vše v pořádku, jelikož je signál na začátku zabalen do IP paketu a na konci vybalen a dále zpracováván jako signál E1. Součástí jsou i prostředky pro zajištění kvality služby, rozdělení do VLAN a TOS (*Type Of Service*) na úrovni třetí vrstvy ISO/OSI modelu. Jednou z výhod je snadná implementace do již běžícího prostředí.



Obr. 3 Struktura rámce TDMoIP prostřednictvím Ethernet [24].

Na Obr. 3 je znázorněna struktura rámce přenášejícího signál TDM s využitím protokolu UDP, sítě IP a prostřednictvím ethernetu. Půjdeme-li zleva doprava tak na prvním místě je záhlaví, které slouží pro synchronizaci u 10Base-T ethernetu. Dále posloupnost bitů udávající začátek rámce, zdrojová a cílová MAC adresa, volitelně VLAN tagy a nakonec typ ethernetu, případně velikost podle typu ethernetu. Pak následuje pole určené pro přenášená data. V tomto poli se nachází další hlavičky pro UDP protokol, pro IP protokol verze 4 nebo 6 a následně již část specifikující TDMoIP. V hlavičce IP protokolu je verze IP protokolu, IP TOS, kontrolní značky, TTL (*Time To Live*), cílovou a zdrojovou IP adresu. V UDP můžeme nalézt zdrojový a cílový port a délku UDP paketu. V rámci specifikace dat v UDP paketu může být RTP (*Real-Time Transport Protocol*) hlavička, která nám zaručuje schopnost přenosu signálu takřka v reálném čase. Kontrolní slovo a na závěr přenášený signál E1. Součástí přenášeného signálu je adaptační vrstva AAL, která je zodpovědná za příjem dat z vyšších vrstev. Pro komprimovaný přenos hlasu se využívá adaptační vrstva AAL2. Jsou různé typy adaptací definované podle hodnocení v čase, rychlosti a typu přenášených dat.

Přenos signálu dosahuje při běžném provozu sítě maximálně 5 ms, což nezpůsobuje žádný problém v interpretaci dat. K špatnému přenosu a ztrátě informace, například kolísání hovoru a ozvěny, dochází řádově v desítkách až stovkách milisekund. Přenos bývá nejčastěji realizován přidáním zařízení nazývaným IPmux, které sdružuje několik signálů E1 a zapouzdřuje je do IP paketu a posílá na cílovou adresu, kde je to samé zařízení, které vykonává opačný postup. Tyto zařízení plní funkci ethernet prepínače, IP směrovače a brány TDMoIP.

2.7 Technologie pro sériovou komunikaci sběrnicí RS 232

Řada prvků využívaných v elektroenergetice má pro komunikaci určeno sériové rozhraní RS232. Při přenosu se vysílají bity za sebou (v sérii) po jednom páru vodičů v každém směru. Pro komunikaci lze využít synchronní nebo asynchronní režim. Nejčastěji se využívá asynchronní režim. Asynchronní režim sice neumožňuje přenášet velký objem dat, ale je schopen dosáhnout delších přenosových vzdáleností. Standardně jsme schopni přenášet data na vzdálenost 15 metrů. V rámci jednoho přenosu se přenáší vlastní data, dále start a stop bit, případně parita. Přenosové rychlosti se pohybují až 230 kbit/s.

Přenosová vzdálenost je velmi malá a některé IED potřebují být řízena a odesílat svá data do vzdáleného centrálního řízení. Je vhodné tyto sériová data zabalit do IP paketů a odeslat skrz paketovou síť. Můžeme nastavovat čas, po který bude čekat na naplnění daty, než se odešle přenosový rámec. Dále je možné definovat speciální znak, který zahájí nebo ukončí přenos. Mezi výhody patří také realizace spojení bod-bod nebo bod-mnoho bodů.

2.8 Hierarchie SDH

V oblasti telekomunikačních přenosů je stále více kladen důraz na rychlost přenosu dat. Systémy PDH již nestačí svojí kapacitou kanálu a jejich úprava by byla tak nákladná, že se již nevyplatí dále tento systém vyvíjet a tak vznikla nová hierarchie SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*). Jak již z názvu vyplývá, jedná se o synchronní přenos dat. Celá struktura SDH vychází z amerického standardu SONET (*Synchronous Optical Network*), dnes jsou tyto dva systémy navzájem kompatibilní. Nejčastěji se pro přenos používá optické vlákno, díky kterému můžeme dosáhnout rychlosti přenosu až desítky Gbit/s. Nejnižší stupeň SDH dosahuje nejvyšší rychlosti PDH, přibližně 155 Mbit/s. Všechny signály se sdružují s pevně definovaným časem mezi signálem vyššího a nižšího řádu. Fázové rozdíly můžeme vyrovnávat pomocí ukazatele STM rámce. Délka jednoho rámce je 125 mikrosekund.

STM rámce slouží pro přenos konkrétních dat. Obvykle se zapisují do přehlednějšího maticového zápisu o 9 řádcích a v případě rámce STM-1 270 sloupcích. Prvních 9 sloupců obsahuje informace o přenosu, zbylou část tvoří informační pole, které nese virtuální kontejner VC-4. Odesílání probíhá bit po bitu po řádcích. Vyhrazené bity nesou informaci o synchronizaci systému, kvalitě přenosu jednotlivých úseků, vytvářejí kanálové spojení pro přenos dat a automaticky chrání přepínání multiplexních sekcí. Obecně může být STM-N rámec, pak zápis matice má tvar $9 \times (270 \times N)$.

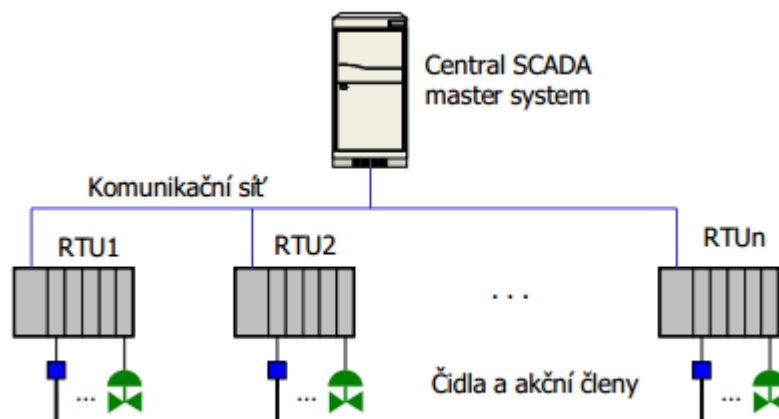
Systém SDH umožňuje přenášet vysokorychlostní datové služby v IP sítích. Pomocí zřetězení virtuálních kontejnerů přenáší ethernetové rámce. Virtuální kontejnery slouží k přenosu jednotlivých příspěvkových signálů, například E1 (2Mbit/s), E3 (34 Mbit/s) a dalších. Na začátku každého virtuálního kontejneru je umístěno tzv. záhlaví cesty POH. Záhlaví POH slouží k přenosu kontejneru sítí SDH a identifikaci. Do jednoho kontejneru pomocí sdružování můžeme zabalit až 63 příspěvkových signálů E1 pro případ STM-1. Kontejnery jsou označeny jako kontejnery vyššího řádu (VC-4 a VC-3) a nižšího řádu (VC-2, VC12, VC-3). Kontejnerům nižších řádů je přiřazen ukazatel PTR (*Pointer*), který ukazuje fázový posun prvního bajtu. Multiplexováním lze vložit kontejnery nižších řádů do vyšších a následně přidáním záhlavím SOH vytvořit rámec STM.

V případě různých rychlostí resp. frekvencí při přenosu mezi SDH jednotkami je nutné korigovat časový posun informace pomocí stuffingu. Kladný stuffing slouží k doplnění až několika bitů v informačním poli STM rámce nepotřebnou informací, zároveň se změní hodnota ukazatele, v případě kladného stuffingu se zvětší o počet doplněných bitů. Záporný stuffing naopak snižuje hodnotu ukazatele a tím vyrovnává rychlejší přenosovou rychlost v první části přenosu. V praxi se využívá kombinace kladného a záporného stuffingu.

Další výhodou SDH systémů je spolehlivé zajištění přenosové cesty a minimální výpadek při poruchách pomocí záložních cest. Metoda LCAS umožňuje dynamicky měnit kapacitu kanálu podle aktuální potřeby zákazníka v rámci dohody s poskytovatelem.

2.9 Systém SCADA

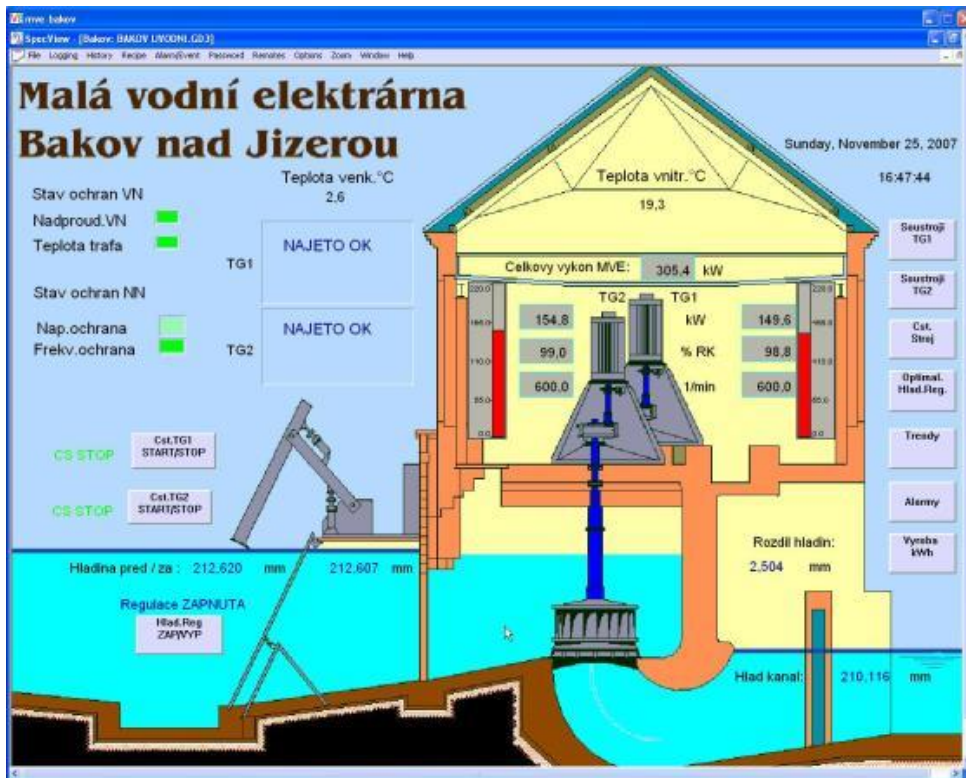
Systémy SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) nám souží k centrálnímu sběru dat od všech různých zařízení v síti. (čidel na sledování teploty, měření tlaku, měření otáček a mnoho dalších) SCADA s prvky sítě komunikuje různými protokoly. Je schopen přijímat data z PLC (Programovatelný logický automat) systémů, vzdálených modulů RTU (Remote Terminal Unit) i od dnešních IED (*Intelligent Electronic Device*). Dnes je tento systém již ve své čtvrté vývojové generaci. Každý SCADA systém obsahuje vstupní a výstupní hardware, regulátory, software a databázi, do které zapisuje sbíraná data. Dále je vybaven grafickou nadstavbou pro ovládání a zobrazení struktury sledované sítě zvanou *Human Machine Interface* (HMI). Toto grafické prostředí umožňuje operátorovi zadávat příkazy, sledovat aktuální hodnoty, vykreslovat grafy závislosti sledované veličiny například na čase a dalších veličinách.



Obr. 4 Struktura SCADA systému [3].

SCADA systém má centrální jednotku, do které jsou připojeny všechna čidla. Čidla jsou připojována přes RTU jednotky nebo PLC případně samostatně podle typu měřidla. RTU jednotky mohou být vnímány jako malé počítače, které mají za úkol přijmout zprávu z čidla a odeslat zprávu do centrálního místa SCADA systému, zároveň jsou schopny vykonávat příkazy z řídicího systému. Místo RTU lze využívat PLC, který obsahuje smyčku pro čtení dat z čidel a na základě toho se provádí další informace, umí i odesílat informaci do SCADA, dalo by se říci, že dochází ke spojování vlastností RTU a PLC.

Využití SCADA systémů nalezneme v řadě oblastí. Dnes se asi nejvíce vyvíjejí v odvětví inteligentních domácností, řízení a kontroly kotlů. Dále se využívají při procesech výroby (například při plnění plynových lahví, sledování výrobních linek a dalších). Nalezneme je v elektrárnách, pro sledování celého výrobního procesu, sledování stavu vodárenské distribuční sítě, rozvody plynu a další prvky, ke kterým je zhoršený přístup a chceme je sledovat a řídit vzdáleně.



Obr. 5 Ukázka SCADA systému pro vodní elektrárnu od firmy SH CONTROL [4].

3. Protokoly využívané pro přenos zpráv v elektroenergetice

Pro výběr vhodného způsobu komunikace a zároveň vhodného protokolu není důležitý rychlý pokrok, ale hlavně spolehlivost a prověřené technologie. Tyto požadavky lze shrnout a rozdělit do tří kategorií:

- Požadavek na přenos v reálném čase.

Přenos v reálném čase je důležitý z hlediska reakce na událost a případné včasné odpojení prvku od sítě nebo jiná reakce. Jak již bylo popsáno v kapitole o průmyslovém ethernetu, je potřeba vhodnými mechanismy zajistit přenos ideálně v jednotkách milisekund. Můžeme zvyšovat přenosovou rychlost, přiřadit prioritu zprávám, využít bezspojoyé protokoly a další.

- Správná interpretace zprávy na straně příjemce (spolehlivost přenosu).

Cílem je zajistit ochranné prvky, abychom správně interpretovali přijatou zprávu. Můžeme využít samoopravné kódy, kontrolní součet CRC (*Cyclic Redundancy Check*), dále můžeme zprávy číslovat, označovat časovou informaci, případně potvrzovat přijetí, ale to nám výrazně zpomalí komunikaci. Protokoly pro přenos zpráv jsou definovány v rámci druhé vrstvy modelu ISO/OSI a pro jejich další použití využíváme nadřazených vrstev. Při přenosu se objevují chyby: velké zpoždění zprávy, špatný kontrolní součet, příjem datových zpráv ve špatném pořadí, ztráta dat, opakující se příjem stejných dat a další.

- Bezpečnost – zajistit ověření od koho přijde řídicí požadavek a zda tento prvek v síti může tyto zprávy zasílat (důvěryhodnost dat).

Bezpečnost průmyslových sítí se nemusela řešit, dokud byly tyto sítě odděleny od ostatního provozu (například od internetu nebo vnitřní sítě podniku). Dnes již většinu těchto sítí můžeme spravovat vzdáleně a tak musíme zajistit bezpečnost. K zajištění bezpečnosti využíváme buď šifrování dat, „podepisování“ dat nebo filtrujeme komunikaci pomocí prvků v síti (například Firewall). V energetických sítích by mohlo toto narušení poškodit celou přenosovou soustavu řízenou tímto systémem a způsobit velké ekonomické škody a vyřadit celou síť z provozu.

3.1 Standard IEC 61850

Standard IEC 61850 specifikuje metody komunikace a komunikační protokoly pro oblast energetiky. Umožňuje vytvářet komunikační systémy, které vyhovují současným požadavkům energetického průmyslu. IEC 61850 se stal standardem používaným pro řízení elektrických rozvodů. Byl sestaven ve spolupráci s mnoha významnými světovými firmami v oblasti energetiky, jako jsou ABB, Alstom, Siemens, Schneider electric a další. Jako jedna z hlavních implementací tohoto protokolu je komunikace mezi ochranami v rozvodnách, komunikace rozvodů mezi sebou a také mezi rozvodnou a centrálním dispečinkem. Standard IEC 61850 se skládá ze 14 hlavních částí. Dnes je doplňován o oblasti vodních, větrných a fotovoltaických elektráren. Pro tento standard existuje česká norma ČSN 61850.

V komunikačních systémech pro rozvodny se používají desítky komunikačních protokolů, proto bylo důležité zavést jeden standard, kterým se budou řídit všichni výrobci a zajistí se tak vzájemná kompatibilita systémů. Cílem je, aby zařízení od různých výrobců mohla spolu komunikovat a byly vzájemně nahraditelné. Tyto zařízení jsou označována jako IED (Inteligentní elektrické zařízení). Zajišťují ochranu rozvodny, řídicí příkazy a komunikaci mezi dispečinkem. Jsou standardizována rozhraní pro komunikaci mezi IED, splňují požadavky na dlouhodobou rozšiřitelnost systémů.

Komunikace je založena na ethernetu. Každý uzel sítě může komunikovat se všemi v síti. Komunikace probíhá na principu klient-server, ale zároveň umožňuje i klientům řídit přenos dat. Protokol IEC 61850 umožňuje komunikaci se systémy SCADA a tak vytvářet časové průběhy provozních hodnot z IED. Zároveň jsou data ukládána a můžeme je zobrazovat v off-line režimu. Využíváme objektově orientovaného programování. Výhodou oproti klasickému programování je přístup k datům a ne k procedurám a tím velmi snadná modifikace systému.

K předávání dat mezi prvky využíváme funkci multicastingu. Jsou vysílány zprávy GSE (všeobecná událost rozvodny), které se dělí na dva typy zpráv:

- GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Events*)

Stavová data a hodnoty proměnných jsou skládány do datových objektů a přenášena v daný časový okamžik, když je detekována událost, zařízení IED aktivuje přenos multicast. Od vzniku události do jejího odeslání nesmí uplynout více jak 4 milisekundy.

- GSSE (*Generic Substation Static Events*)

Využívá se pro přenos stavových dat, jedná se o řetězec bitů, podporuje pouze přenos stavových informací, jejich zpracování trvá mnohem více času než zpráv GOOSE.

3.2 Standard IEC 60870-5

V tomto standardu jsou definovány komunikační protokoly pro systémy dálkového řízení a pro systémy SCADA geograficky rozlehlých sítí. Také pro tento standard existuje česká norma ČSN 60870-5.

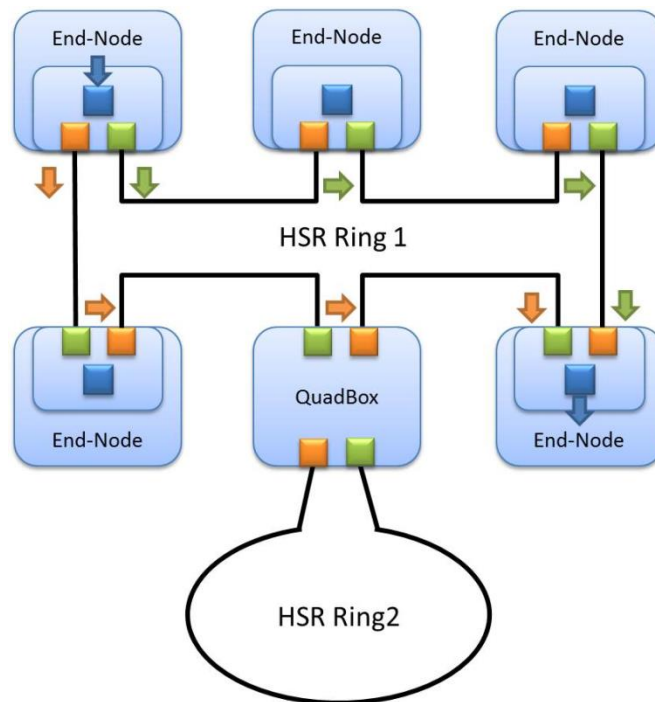
IEC 60870-5 vychází z komunikačního modelu master-slave, kdy na jedné straně je master a odesílá požadavky postupně všem svým podřízeným jednotkám. Od těchto jednotek následně přijde odpověď. U běžných řídicích systémů jsou jednotkou master například programovatelné obvody PLC a jednotky slave jsou čidla, vstupní, výstupní obvody, akční členy, regulátory a další. Obecně se dají řízené jednotky označit jako RTU (Remote Terminal Unit). Existují zařízení, která mají přímo integrované rozhraní jednotky slave.

Jelikož nastávají případy, kdy musí jednotka slave sama zhlásit změnu svého stavu zařízení master, je definována funkce Report by Exception (RBE). Tato funkce umožňuje jednotce slave navázat komunikaci s master jednotkou. Bez RBE by se master dozvěděl o změně stavu, až když by se ptal v rámci pravidelného dotazování. Všechny události jsou doplněny časovou stopou a můžeme tedy určit, která událost nastala první a jaká byla její příčina.

V rámci IEC 60780-5-104 je specifikován způsob přenosu standartními transportními protokoly s rodiny TCP/IP.

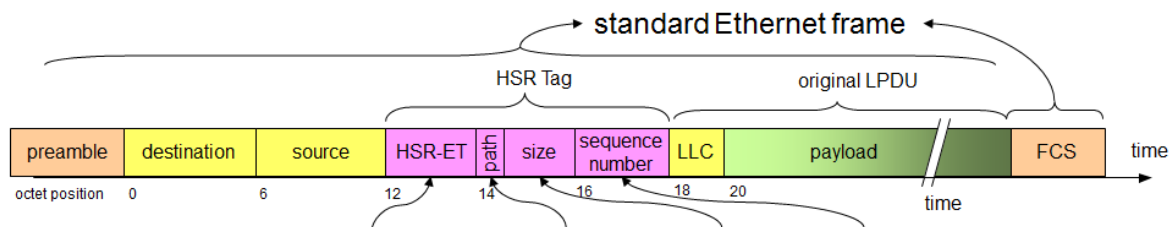
3.3 Protokol HSR (IEC 62439-3)

HSR (*High-availability Seamless Redundancy protocol*) je redundantní protokol popsáný standardem IEC 62439-3 část 5, založený na ethernetu. Cílem tohoto protokolu je obousměrná komunikace v kruhové síti. Vytvoření dvou virtuálních sítí, které jsou schopny přijímat informace z obou směrů a zároveň v případě duplikace jednu zahodit.



Obr. 6 Způsob přenosu v protokolu HSR [12].

Protokol HSR přidá do záhlaví každého ethernetového rámce hlavičku, která nese informaci o směru odeslání. Odeslání v obou směrech probíhá ve stejném čase. Pro připojení zařízení, které nepodporuje HSR protokol je nutné využít speciální prvek nazývaný RedBox, který přijímaná data interpretuje do sítě za ním pouze jednou a zároveň umožní odeslat data dvěma směry s doplněním hlavičky HSR v ethernet rámci. Zařízení QuadBox, které je znázorněno na Obr. 6 slouží k spojení více HSR kruhů do jednoho.



Obr. 7 Struktura ethernetového rámce s využitím HSR [17].

Struktura ethernetového rámce, který je doplněn o záhlaví protokolu HSR, je znázorněna na Obr. 7. Rámec obsahuje hlavičku, cílovou a zdrojovou adresu, HSR Tag, délku rámce,

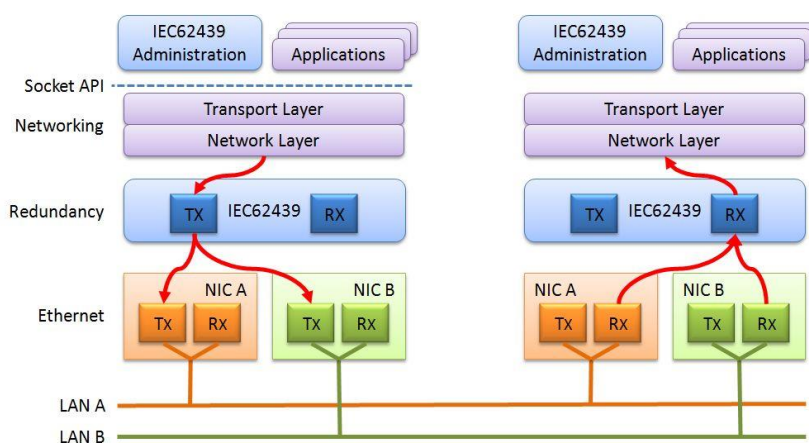
přenášená data a na závěr FCS (*Frame Check Sequence*) pro kontrolní součet CRC. Maximální velikost ethernetového rámce je 1522B (pro 802.1Q). Pozice HSR tagu se mění podle použité technologie ethernetu. V HSR tagu jsou následující pole HSR-ET, které nám určuje typ použitého ethernetu (např. 802.1Q), path identifier, který značí směr cesty v kruhu, velikost pole a pořadové číslo, které je pro každou cílovou adresu zvětšeno o jedničku a tím tak unikátní. Je možné uložit číslo a adresy do tabulky pro identifikaci duplicitních dat.

Pro časovou synchronizaci se využívá vnitřních hodin síťového uzlu. V síti je několik uzlů označených master, které jsou synchronizovány časem s GPS signálem. Další uzly získávají čas od těchto nadřazených uzlů pomocí SYNC zpráv a každý uzel obsahuje takzvané transparentní hodiny. Vychází z doporučení IEEE 1588.

Mezi výhody patří využití čtyř párů nebo čtyř optických vláken. Je nezávislý na vyšších vrstvách, nenarušuje přenášená data. Zajišťuje neustálou redundanci. Lze ho použít pro libovolný průmyslový ethernet, je standardizován v rámci mezinárodního standardu IEC 62439-3 kapitola 5. Mezi nevýhody spadá nutná synchronizace vnitřních hodin podle IEEE 1588, vyžaduje hardwarovou implementaci, například pomocí FPGA (*Field Programmable Gate Array*), snižuje šířku pásma sítě vysláním multicastových zpráv a zařízení, která nepodporují protokol HSR musí být připojena přes speciální prvek. Nejčastěji se používá v elektrických rozvodnách při komunikaci s různými ochranami.

3.4 Protokol PRP (IEC 62439-3)

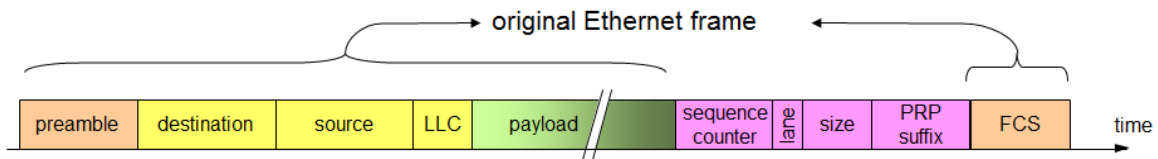
PRP (*Parallel Redundancy Protocol*) umožňuje redundanci pomocí dvou síťových rozhraní zařízení, kdy každé rozhraní je připojené do jiné sítě, které nejsou vzájemně propojeny. Protokol pracuje na druhé vrstvě ISO/OSI modelu. Nevýhodou oproti HSR je potřeba speciálních přepínacích prvků.



Obr. 8 Způsob zapojení zařízení při využití protokolu PRP [12].

Současně jsou vysílány dva rámce, každý do jedné sítě a prochází přes nezávislé sítě do cíle. Každá cesta má jiné zpoždění přenosu, případně nemusí dorazit celý rámeček. Zařízení, která nepodporují tento protokol, jsou připojena buď jen k jedné síti nebo pomocí speciálního

prvku nazývaného Redbox do obou sítí. Obě rozhraní používají stejnou MAC adresu i IP adresu. Samozřejmě nemůže dojít k duplicitě adres, protože obě rozhraní jsou v jiné síti.



Obr. 9 Struktura ethernetového rámce s využitím PRP [18].

Na Obr. 9 je znázorněn ethernetový rámec s hlavičkou pro PPR protokol (tzv. PRP sufix). Na první pohled je stejný jako rámec pro protokol HSR. Pořadové číslo je vloženo stejné pro oba vysílané pakety, každý do jiné sítě a každý následující paket má číslo zvětšené o jedničku. PRP sufix umožňuje skrýt posílaná data pro normální přenos bez PRP protokolu.

Protokol PRP má několik výhod, umožňuje bezproblémové přepínání, snaží se eliminovat ztráty rámců, může být implementován v rámci normálního provozu sítě, snižuje ztráty rychlosti, umožňuje kontrolu přítomnosti uzlů pomocí periodických zpráv dohledu, snadnou komunikaci se zařízeními bez podpory PRP pomocí speciálních prvků. Naopak nevýhodou může být vzájemná komunikace zařízení bez podpory PRP protokolu. Bohužel nemohou spolu komunikovat přímo, pokud nejsou ve stejné síti. Což znamená zdvojené náklady na infrastrukturu sítě. Zároveň je omezena velikost ethernet rámce, který nesmí být delší, než je stanoveno v IEEE 802.3. Využití nalezneme v oblastech kontroly plynovodů, elektráren, v automatizaci, a dalších odvětvích.

3.5 Standard PROFINET (IEC 61158)

Standard PROFINET je založen na standardech průmyslového ethernetu, potažmo ethernetu. Nejčastěji se používá v oblasti automatizace, řízení výrobních linek a mnoho dalších. Dnes jsou již tři varianty protokolů: PROFINET, PROFIBUS, PROFISAFE. Mezi jejich výhody patří vysoké rychlosti přenosu dat, schopnost přenášet data v reálném čase, komunikaci se systémy PLC a SCADA.

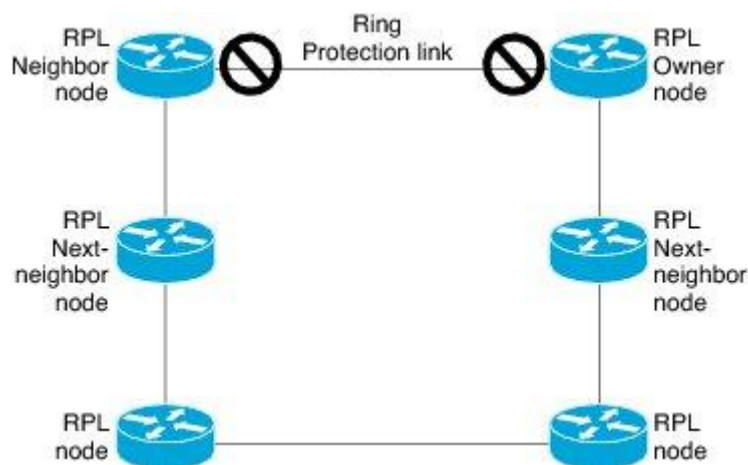
V rámci zavádění tohoto systému jsou již dnes používány rychlé instalační metody, které umožňují zavedení systému kdekoliv. Standardizovány jsou konektory, způsoby přenosu a tudíž je velmi snadné vyměnit jakékoliv zařízení i od jiného výrobce. PROFINET využívá zavedené protokoly jako například TCP/IP a zároveň umožňuje komunikaci v reálném čase, což nachází uplatnění v aplikacích, kde je potřeba řídit pohyb (například robotické paže výrobní linky automobilů a mnoho dalších). Zároveň nabízí možnosti připojení do vnitřní sítě podniku a tak vzdáleně sledovat a řídit výrobní proces.

Pro přenos mezi jednotlivými prvky můžeme využít metalických nebo optických kabelů a tím dosáhnout vysoké přenosové rychlosti až v řádech 10 Gbit/s. Zároveň jsou již dnes implementovány do standardu PROFINET i prvky z počítačových sítí jako například oddělení zařízení v síti pomocí VLAN. Pro výpadky cest je využit nejčastěji protokol RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol), na odfiltrování provozu je použit Firewall a pro vzdálený přístup možnost vytvoření VPN tunelu skrz internet.

3.6 Doporučení ITU-T G. 8032

Doporučení ITU-T G.8032 Ethernet Ring Protection Switching, neboli ochrana přepínání v rámci kruhové topologie ethernetu. V tomto doporučení je využit protokol ERP (*Ethernet Protection Ring*), poskytující ochranu komunikace v rámci ethernetu na druhé vrstvě RM ISO/OSI a zajišťuje, aby nevznikaly smyčky v síti. Smyčkám zabráňuje dvěma způsoby, buď blokuje předem určenou část trasy anebo při selhání spojení odblokuje předem zablokovanou a zablokuje tu, na které je detekována porucha.

V každé síti je několik uzlů, každý uzel má dva sousední a k nim je připojen pomocí dvou nezávislých propojení. Pro zabránění vytvoření smyčky využíváme speciálního označení cesty RPL (*Ring Protection Link*). Pro blokování správné cesty je využita databáze označovaná FDB (*Filtering Database*), která je implementovaná v celé topologii. Na Obr. 10 je znázorněna topologie s vyznačenou zablokovanou cestou. V síti jsou tři typy uzlů RPL. První je RPL vlastník, který má odpovědnost za blokování provozu, v síti může být pouze jeden. Dalším typem je RPL soused, to je uzel, který sdílí s vlastníkem zablokovanou cestu na našem obrázku vlevo nahoře, i tento uzel má odpovědnost za blokování při běžného provozu. Posledním typem je RPL další soused, který je připojen jinou cestou na RPL vlastníka nebo RPL souseda. Jeho hlavním úkolem je optimalizace FDB databáze.



Obr. 10 Kruhová topologie podle doporučení ITU-T G.8032 [19].

Pro vzájemnou komunikaci mezi uzly se využívá zpráv R-APS (*Ring Automatic Protection Switching*). Tyto zprávy řídí činnost přepínání a nařizují zapnutí nebo vypnutí RPL. Jakékoli selhání v síti vyvolá zprávu o poruše, která je vyslána v obou směrech a následně vlastník RPL uvolní zablokovaný port.

Dále je možné filtrovat zablokování cesty pouze pro určitou VLAN a tím rozdělit provoz více směrů a tak rozdělit zatížení sítě. Protokol ERP využívá časovačů, aby zabránil zbytečnému přepínání. Například použití zpoždovače, který umožní RPL vlastníkovi ověřit, že síť je stabilní než zablokuje určenou cestu. Výchozí časový interval je 5 minut a může se pohybovat v rozmezí od 1 do 12 minut. Po vydání příkazu na zablokování, se počká stanovený časový interval pro ověření, že žádná jiná blokáce v síti není.

3.7 Spanning Tree Protocol a jeho varianty

V běžné ethernetové síti mohou vzniknout smyčky. Smyčka může vzniknout chybou administrátora, což se nepředpokládá pro případy v průmyslovém návrhu systému, mnohem častěji z důvodu redundance nebo rozložení zátěže v síti. Redundantní spojení nám slouží jako záloha a v případě, že je vše v pořádku, je neaktivní, ale když využijeme zapojení pro zvýšení propustnosti sítě tak jsou všechny cesty využity zároveň. Proto, aby nám tyto smyčky nevznikaly, využíváme protokolů, které nám nad fyzickou sítí vytvoří síť virtuální, která již žádné smyčky neobsahuje. V případě, že nám v síti smyčky zůstanou, dojde nejčastěji k broadcastové bouři, neboli celá síť je zahlcena. Jedním z řešení je využití STP (*Spanning Tree Protocol*) protokolu a jeho modifikací jako jsou RSTP (*Rapid Spanning Tree Protocol*) nebo MSTP (*Multiple Spanning Tree Protocol*).

Protokol STP vytváří virtuální topologii, která neobsahuje smyčky. K vytvoření této topologie využívá STA (*Spanning Tree Algorithm*), který vytvoří databázi topologie a pak hledá nadbytečné spoje a ty blokuje. Kterou cestou se rámec pošle, určíme podle ceny linky, která je dána svojí propustností. Přehled cen různých linek je v Tab. 1.

Přenosová rychlost	Cena STP (802.1D-1998)	Cena RSTP (802.1D-2004)
4 Mbit/s	250	5000000
10 Mbit/s	100	2000000
16 Mbit/s	62	1250000
100 Mbit/s	19	200000
1 Gbit/s	4	20000
2 Gbit/s	3	10000
10 Gbit/s	2	2000

Tab. 1 Přehled cen linek STP a RSTP protokolu.

Dále je nutné určit, který přepínač bude Root bridgem – kořenem celé sítě. Z jeho pohledu se dějí všechny rozhodnutí, dobré je zvolit tímto přepínačem ten nejvýkonnější v síti. Kdo bude Root bridgem se určí podle hodnoty Bridge ID, což je základní hodnota každého přepínače, která je určena z priority a MAC adresy přepínače. Volbu Root Bridge můžeme tedy ovlivnit nastavenou prioritou. STP protokol využívá speciálních zpráv posílanými mezi přepínači a nazývají se BPDU (Bridge Protocol Data Unit). Má tři části. Informace o STP (verze, typ apod.), konfigurační parametry (root BID, cena linky k root bridgi, odesílatel) a časové parametry (interval zasílání BPDU zpráv, maximální životnost zprávy, doby mezi stavy. Ve výchozím nastavení jsou zasílány BPDU každé dvě vteřiny. BPDU přijímají i zablokovaná rozhraní. Při výpočtu, která z cest se zablokuje, dojde k sečtení hodnot cest k cíli a ta nejnižší je využita pro přenos a zbývající jsou zablokovány. Přesměrování cesty trvá u STP protokolu přibližně 30 vteřin.

RSTP protokol principiálně funguje stejně jako STP, ale jsou mu přiřazovány role portů, změněna struktura BPDU a hlavní zrychlení je způsobeno tím, že všechny přepínače generují BPDU a posílají je na všechny porty. Tato změna umožňuje dosáhnout času konvergence kolem jedné vteřiny. Existují čtyři typy portů: root port (port, který má největší váhu BPDU, je nejbližší k root přepínači vzhledem k ceně cesty), designed port (port, který posílá BPDU s největší vahou do daného segmentu ke kterému je připojen), alternate port (je blokován a umožňuje alternativní cestu k root přepínači) a poslední backup port, který slouží jako záloha designed portu pro daný segment sítě. Formát BPDU používá všech 8 flag bitů (STP pouze 2). Využívají se pro zakódování role a stavu portu. Každý BPDU obsahuje tyto parametry, podle kterých rozlišujeme jejich důležitost: ID root přepínače, cena cesty k root přepínači a ID přepínače, který BPDU poslal. Tyto BPDU se označují jako BPDU verze 2. V případě, že přepínač, který podporuje pouze STP protokol, přijme tuto verzi BPDU a celá síť se přepne do režimu STP a pracuje podle starých principů.

Hlavním způsobem komunikace je princip nabídky a souhlasu. Přepínače posílají nabídky sousedním přepínačům a ty v případě, že mají větší BID, tak odpoví souhlasem a vzájemně přenastaví směrovací tabulky.

MSTP protokol vznikl jako nadstavba RSTP a byl definován v IEEE 802.1s a v roce 2003 byl sloučen a zařazen do normy IEEE 802.1Q, která popisuje VLANy. MSTP jako základ využívá RSTP protokol a úzce s VLAN souvisí, protože seskupuje jednotlivé VLANy do spanning tree instancí. Pro každou VLANu běží samostatný STP. Díky tomu můžeme využít více cest a provádět vyrovnaní zátěže v síti. Standardně je možné vytvořit až 65 různých logických topologií. Klasické STP nebo RSTP má pouze jednu STP instanci pro všechny VLANy, má sice menší hardwarové nároky, ale umožňuje vytvořit pouze jednu virtuální topologii a nemůžeme rozdělit zatížení sítě.

Důležitou částí MSTP protokolu je MSTP region. Je tvořen skupinou přepínačů, které mají stejnou konfiguraci (stejně mapové instance na VLANy). Jednotlivé regiony nebo přepínače jsou propojeny klasickým STP (RSTP). Aby se přepínač stal součástí regionu, tak musí mít stejnou konfiguraci jako ostatní (jméno regionu, číslo revize, mapování VLAN na instance). V jednom regionu můžeme vytvořit řadu instancí se skupinami VLAN (0 až 4094) ale maximálně 65. Defaultně jsou všechny VLANy přiřazeny do MST00.

4. Zařízení pro průmyslové sítě

Zařízení pro průmyslovou aplikaci vyžadují jiné provedení než u zařízeních používaných v domácí sféře. Dalo by se říci, že pro průmyslovou aplikaci potřebujeme, aby tato zařízení byla sto procentně spolehlivá. Proto požadujeme větší robustnost, záložní napájení, pokud možno pevně spojené konektory (například šroubovací) a další typy.

4.1 Výrobci prvků pro průmyslové komunikační sítě

Na trhu je mnoho výrobců zabývajících se výrobou těchto zařízení. Bohužel v mnoha případech neexistují žádné standardy a nejsou definovány způsoby, jak mezi sebou jednotlivá zařízení mají komunikovat a tak je na každém výrobcu jakým způsobem tento problém řeší, tím vzniká problém nekompatibility. I v případě, kdy se jedná o funkčně stejná zařízení (například přepínač), ve většině případů nelze nahradit tento prvek v síti prvkem jiného výrobce. Tím si výrobce jistí použití pouze jeho prvků v celé síti, aby byla zajištěná plná kompatibilita.

Mezi známé firmy patří Westermo, Siemens, Hirschmann, MOXA, Lantech Communications a N-TRON.

Švédská firma Westermo byla založena v roce 1975, zabývá se průmyslovými přepínači, serial převodníky, opakovači a mnoha dalšími. Jejich výrobky jsou používány k ovládání železniční sítě a zajištění bezpečnosti železniční dopravy. Pro těžební společnosti (realizace pro Severočeské doly a.s.), distribuce plynu a energie, havarijní systém v tunelu, nouzové volání na rychlostních komunikacích a mnoho dalších.

Firma Siemens v České republice působí již 120 let a patří do skupiny Siemens AG. Patří mezi největší elektrotechnické firmy, zabývá se výrobou ochrany vedení, motorů a generátorů, monitorování kvality dodávané energie, řídicími systémy pro elektrárny a rozvodny a samozřejmě výrobky v oblasti automatizace a průmyslové komunikace. Produkty řady SCALANCE, které umí využít protokoly HSR a PRP.

Firma Hirschmann se zabývá výrobky pro průmyslový ethernet a s tím spojené průmyslové konektory a dále nabízí pro své zákazníky podporu v oblasti řešení automatizace a průmyslových aplikací. Průmyslové přepínače pro venkovní použití, do extrémních podmínek, vodotěsné prvky a další. Většina jejich zařízení je kompatibilní s protokoly HSR a PRP.

Firma MOXA se specializuje na průmyslové aplikace, řídicí systémy ve výrobních procesech, kamerové systémy pro kolejová vozidla, síť SmartGrid a s nimi spojené obnovitelné zdroje, technické řešení pro ropné plošiny, plynové stanice a plynovody. Nabízejí průmyslové ethernetové přepínače splňující standart IEC 61850-3.

Firma Lantech Communications do svých průmyslových ethernet přepínačů integruje podporu ITU-G.8032, dále protokolu IEC-61850-3 a protokol PTPv2, zároveň uvádí, že jsou schopni zajistit komunikaci takřka v reálném čase (okolo 4 milisekund).[30] Nabízí tyto typy řešení a použití jejich výrobků: v železniční dopravě, v inteligentních budovách,

automatizaci výrobního procesu, ropném průmyslu, systémy pro autobusy, monitorování větrných elektráren, čističky odpadních vod a mnoho dalších.

Firma N-TRON se zabývá průmyslovými prvky pro automatizaci. Na svých stránkách uvádí několik studií o použití jejich zařízení. Například se jedná o využití v jaderných elektrárnách, dále sledování celého pole větrných elektráren zapojených do kruhu, automatizace automobilové linky, sledování a měření výsledků automobilových závodů a řízení vodních přehrad.

4.2 Důležité parametry

Pro výběr konkrétního prvku bychom si měli stanovit vlastnosti, které jsou pro naši aplikaci klíčové a podle nich se rozhodovat mezi různými variantami. Pro každé odvětví jsou různé klíčové vlastnosti. Například pro zařízení umístěné ve venkovním prostředí bude velmi důležitá vodotěsnost a pracovní teploty, zařízení by mělo zvládat bez problému změny teplot ročních období, vlhkost a další vlastnosti spojené s podmínkami prostředí. Na druhou stranu u zařízení na automatizační lince nás spíše bude zajímat rychlost zařízení, schopnost komunikace v reálném čase a robustnost zařízení.

V neposlední řadě bude důležité jaké má zařízení vstupy a výstupy, robustnost konektorů, jejich zajištění proti samovolnému vypojení, způsob napájení a jeho záloha. Pro někoho může být důležitý způsob konfigurace, ať už grafický nebo pomocí příkazové řádky. Pro špatně dostupná místa bude důležitý vzdálený přístup ke konfiguraci zařízení. Způsoby montáže a uchycení zařízení, většina z nich má uchycení na DIN lištu.

V následujících kapitolách jsou popsána zařízení, která byla využita při praktické části této práce, pro ověření parametrů datových přenosů. Z dostupných přenosových technologií byly zvoleny technologie umožňující přenosy Serial over IP nad ethernetem s prvky firmy Westermo a zařízení firmy MOXA realizující přípojku VDSL2, protože obě technologie jsou v dnešní době hojně využívány při zajištění komunikace mezi prvky v elektroenergetické síti. Technologie Serial over IP je určena pro přenos dat sériové sběrnice RS 232 nebo RS 485 pomocí IP sítě. Technologie VDSL2 je určena pro realizaci datových přenosů s využitím metalických symetrických párů. Jedná se tedy o možný způsob propojení jednotlivých lokalit rozveden, transformoven nebo rozpínacích stanic. Přestože metalické přenosové trakty nejsou příliš vhodné pro prostředí elektroenergetiky, z historických a ekonomických důvodů jsou stále rozšířeny a využívány.

4.3 Síťový prvek Westermo EDW-100

Westermo EDW-100 je zařízení, které slouží k přenosu sériového signálu RS-232, RS-422 a RS-485 prostřednictvím paketově orientované sítě, která využívá ethernetu. K přenosu jsou využívány dva protokoly transportní vrstvy RM ISO/OSI a to UDP a TCP. Pomocí DIP (*Dual In-line Package*) přepínačů je možno nastavit konfiguraci RS-422/RS-485, pro ostatní konfigurace je k dispozici webová rozhraní. Pro získání diagnostických informací můžeme využít protokol telnet a na přední straně jsou umístěny LED diody ukazující stavy zařízení a připojených linek.

Zařízení EDW-100 je navrženo pro použití v náročných průmyslových aplikacích, má široký rozsah výkonů, galvanické oddělení ochrana proti přepětí. Udávaná výdrž se pohybuje kolem miliónu hodin provozu. Velký rozsah teplot -25°C až +70°C.

Jak už bylo řečeno, pro přenos využívá protokolu UDP nebo TCP. Pro protokol TCP lze nastavit režim klienta nebo serveru. Dále je možné uskutečnit spojení na virtuální COM port počítače.

Na čelní straně zařízení se nacházejí stavové LED diody, konektor RJ-45 pro ethernet a konektor pro RS-232 sběrnici. Na zadní části je uchycení do DIN lišty. Ze spodu je konektor pro napájení a konektor pro sběrnici RS-422/RS-485. Detailní popis parametrů konvertoru naleznete v příloze.



Obr. 11 Westermo EDW-100 [26].

4.4 Síťový prvek Westermo L208-F2G-S2

Westermo L208-F2G-S2 je přepínač s funkcí směrování, který pracuje na třetí vrstvě RM ISO/OSI modelu. Slouží ke komunikaci v rámci průmyslové sítě. Tento přepínač disponuje 4 ethernetovými porty pro připojení do vnitřní sítě, dvěma porty pro sériovou sběrnici a to jeden pro RS-232 a druhý konfigurovatelný RS-232 nebo RS-422/485, dále 2 SFP porty pro připojení gigabitové optické, případně metalické sítě standardu ethernet. Na zadní straně má uchycení na DIN lištu.

Jako každý průmyslový síťový prvek má dvojitý napájení, a to 48 V DC. Mezi jeho důležité vlastnosti patří provozní teplota, která se pohybuje v rozmezí -40 °C až +70 °C. Výrobce udává životnost 500 tisíc hodin provozu.

Umí využít moderní síťové protokoly pro zabezpečení, bránu firewall, VPN, podporu Modbus a další. Pro konfiguraci se používá webové rozhraní nazývané WeOS, které umožňuje veškerou konfiguraci zařízení. Detailní popis parametru zařízení naleznete v příloze.



Obr. 12 Westermo LX08-F2G-S2 [26].

4.5 MOXA IEX-402-VDSL2

MOXA IEX-402-VDSL2 je zařízení umožňující přenos dat přípojkou technologie VDSL2 (*Very High Speed DSL*). Mezi jeho přednosti patří schopnost přenosu přes metalický pár do vzdálenosti až 3 kilometrů. Toto zařízení podporuje pouze proprietární VDSL2 přenosy. Proto bohužel nelze tento prvek zařadit do klasické metalické přístupové sítě. Vždy při přenosu musí být připojena proti sobě stejná zařízení, nelze je nahradit jinými.



Obr. 13 MOXA IEX-402-VDSL2 [32].

Zařízení disponuje jedním portem pro DSL (*Digital Subscriber Line*) s konektorem RJ-45, dále dvěma odnímatelnými konektory pro přímé připojení metalického páru pro DSL. Konektor RJ-45 pro připojení 100 BaseT(X) ethernetu a konektor pro připojení konsoly. Pro připojení konsoly se využívá sériové sběrnice RS-232, zde je umožněno připojení také přes RJ-45 konektor. Na zařízení jsou umístěny notifikační LED diody, které zobrazují stav zařízení, napájení, aktivitu linky a diody, které ukazují rychlost DSL připojení nebo SNR. Na horní straně zařízení jsou umístěny dva moduly pro napájení 12/24/48 V DC a DIP přepínače pro nastavení indikace SNR nebo rychlosti, způsobu komunikace mezi zařízeními a potlačení impulsního rušení. Zařízení je připraveno k uchycení na DIN lištu, případně výrobce dodává držák k uchycení na zeď. Zařízení lze spravovat třemi způsoby. Přes sériovou sběrnici, pomocí protokolu telnet nebo přes webové rozhraní. Umožňuje nastavení pro vzdálený přístup, zablokování adres, které nemohou přistupovat ke správě. Podporuje sběrnici PROFINET a IP protokol verze 6.

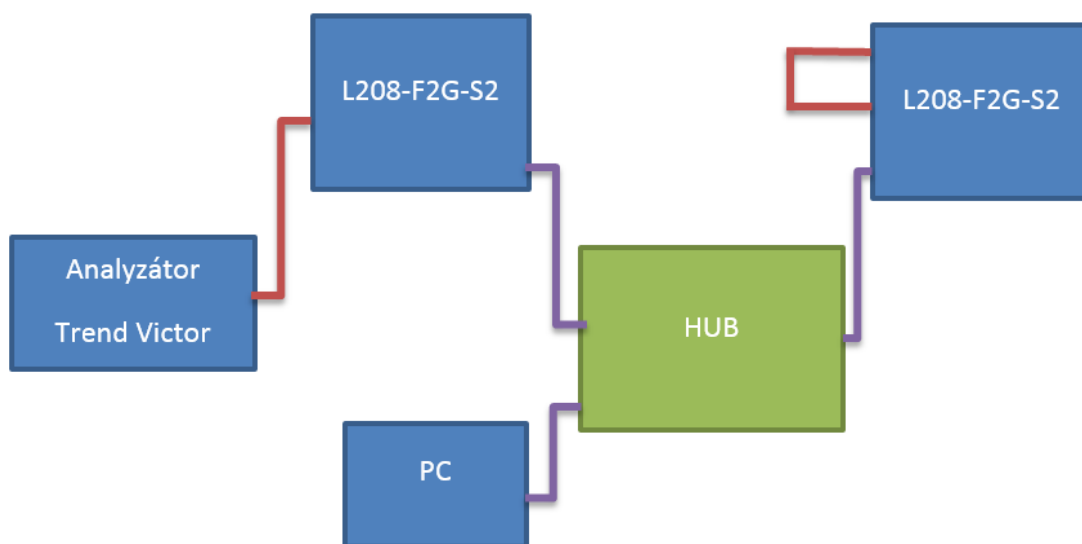
5. Zapouzdření sériového signálu do ethernetových rámců

Cílem tohoto měření bylo zjistit, jakým způsobem je realizován sériový datový přenos sběrnice RS 232 v paketové datové síti s prvky firmy Westermo. Byly vysílány různé posloupnosti a s různým časovým intervalem čekání na naplnění obsahu paketu. V závislosti na zjištění jak tyto prvky budou doplňovat pakety, když nebude naplněn do plné velikosti. Kvůli tomu byla měněna i rychlost sériové sběrnice. Pro zjištění vlivu na přenášená data byl měněn i způsob přenosu paketů, buď pomocí TCP nebo UDP.

Pro měření byly použity prvky Westermo EDW-100 a Westermo L208-F2G-S2, dále ethernetový rozbočovač s porty 10 Mbit/s, softwarový paketový analyzátor Wireshark a analyzátor Trend Victor Plus s datovým modulem V.24/V.28.

5.1 Měření s prvkem Westermo L208-F2G-S2

V tomto měření jsou použity prvky Westermo L208-F2G-S2, kdy jeden je připojen na analyzátor, který generuje posloupnosti a posílá je po sériové lince na portu RS-232 a druhý má na sériovém portu RS-232 připojenu hardwarovou smyčku, aby se data obrátila a poslala zpátky. Data jsou zabalena do paketů a přes ethernetovou síť posílána mezi těmito přepínači. Do cesty je vložen HUB neboli rozbočovač, abychom mohli odposlouchávat síťový provoz.



Obr. 14 Zapojení měřícího pracoviště s prvky Westermo L208-F2G-S2.

Na Obr. 14 je znázorněno fyzické zapojení, kde červené spoje znázorňují sériovou linku a fialové spojení pomocí UTP kabelu s koncovkami RJ-45.

Měření bylo prováděno s několika různými nastaveními délky paketů, byla měněna i délka vysílaného slova a rychlost linky. Těmito změnami bylo zjištěno, že tento prvek Westermo L208-F2G-S2 vezme data ze sériového rozhraní a vloží je do části paketu, která je určená

Všechny vysílané posloupnosti a různé délky slova jsou zpracovány v příloze této práce a záznamy z odchycení paketů na přiloženém médiu.

```

⊞ Frame 1: 82 bytes on wire (656 bits), 82 bytes captured (656 bits) on interface 0
⊞ Ethernet II, Src: westermo_05:ad:41 (00:07:7c:05:ad:41), Dst: westermo_01:63:a1 (00:07:7c:01:63:a1)
⊞ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.23.82 (192.168.23.82), Dst: 192.168.23.81 (192.168.23.81)
    Version: 4
    Header Length: 20 bytes
    ⊞ Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00: Default; ECN: 0x00: Not-ECT (Not ECN-Capable Transport))
    Total Length: 68
    Identification: 0x0000 (0)
    ⊞ Flags: 0x02 (Don't Fragment)
    Fragment offset: 0
    Time to live: 64
    Protocol: UDP (17)
    ⊞ Header checksum: 0x8ab5 [correct]
    Source: 192.168.23.82 (192.168.23.82)
    Destination: 192.168.23.81 (192.168.23.81)
    [Source GeoIP: Unknown]
    [Destination GeoIP: Unknown]
⊞ User Datagram Protocol, Src Port: cslistener (9000), Dst Port: cslistener (9000)
    Source port: cslistener (9000)
    Destination port: cslistener (9000)
    Length: 48
    ⊞ Checksum: 0x5e9f [validation disabled]
⊞ Packet Cable Lawful Intercept
    CCCID: 2290649224
⊞ Internet Protocol Version 4, Src: 136.136.136.136 (136.136.136.136), Dst: 136.136.136.136 (136.136.136.136)
⊞ Data (4 bytes)

```

```

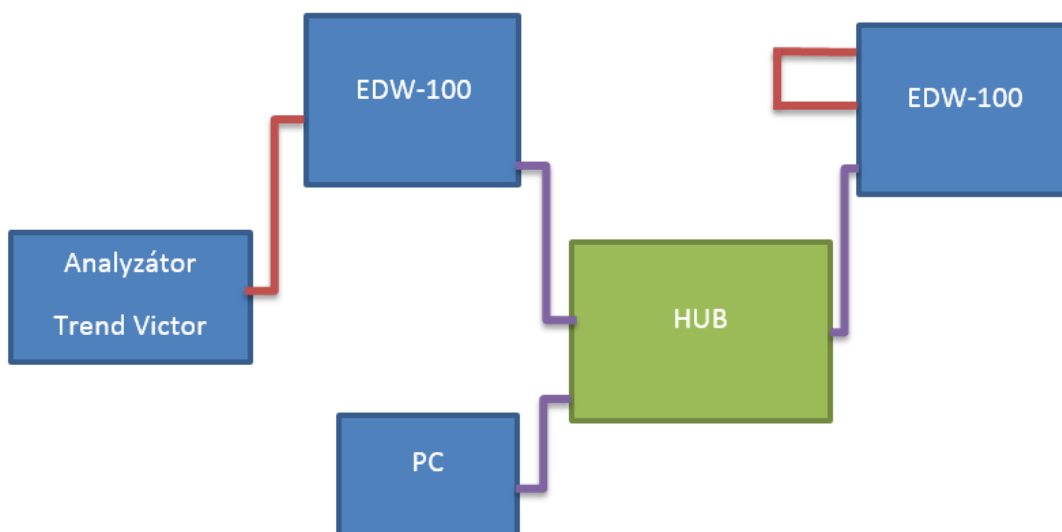
0000  00 07 7c 01 63 a1 00 07 7c 05 ad 41 08 00 45 00  ..|.C...|..A..E.
0010  00 44 00 00 40 00 40 11 8a b5 c0 a8 17 52 c0 a8  .D..@.@. ....R..
0020  17 51 23 28 23 28 00 30 5e 9f 88 88 88 88 88 88  .Q#(#(.0 ^..
0030  88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88  .....
0040  88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88  .....
0050  88 88  ..

```

Obr. 16 Zachycený paket, protokol UDP, velikost rámce 40 bajtů.

5.2 Měření s prvkem Westermo EDW-100

S prvkem Westermo EDW-100 měření probíhalo naprosto shodně jak je patrné z Obr. 17. Opět jsme využili sériovou sběrnici RS-232 na obou stranách a přes konvertor posílali skrz IP síť. Tyto konvertory jsou připraveny na vzdálenou komunikaci skrz internet. Také mají své grafické rozhraní pro správu, která je nepatrně komplikovanější, než je tomu u předchozích prvků s nadstavbou WeOS.



Obr. 17 Zapojení měřícího pracoviště s prvky Westermo EDW-100.

Adresy těchto zařízení byly opět ze stejného adresového prostoru kvůli směrování. Adresy byly 192.168.23.85 192.168.23.86 a port 39000.

Měření taktéž proběhlo při různých konfiguracích. Délka paketu byla 1000 bajtů, čas čekání při odesílání 20 milisekund, kódové slovo 4 bity, rychlost sériové linky 9600 bit/s. Na této konfiguraci bylo otestováno, jak se mění paket, když čeká na příchozí data ze sériového portu.

6. Měření parametrů přípojky VDSL2 s prvky MOXA IEX-402-VDSL2

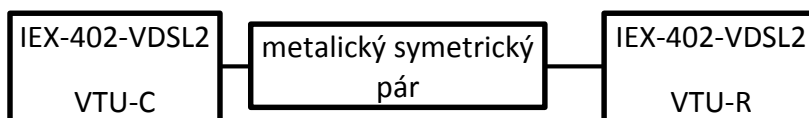
Na prvcích MOXA IEX-402-VDSL bylo provedeno několik měření, nejdříve měření v závislosti na délce vedení s translátory, dále propustnost při přímém propojení, analýza spektrálních PSD masek v různých zapojení a nakonec měření v závislosti na délce vedení s modelovým rušením AWGN a Cookovým pulsem a s rušením ETSI B a Cookovým impulsem.

Oddělovací transformátory (translátoři) slouží ke galvanickému oddělení přenosové cesty a síťového prvku. Translátoři významným způsobem ovlivňují charakter přenosové cesty. Konkrétní charakteristika parametrů použitých translátorů je nad rámec této práce, ale je k dispozici v projektech na K13132, FEL ČVUT v Praze.

Pro měření byly použity následující prvky:

- 2 prvky MOXA IEX-402-VDSL2 (firmware v1.2 build 13072616).
- Ethernetový analyzátor FTB-500 s modulem FTB-8510b.
- Translátoři CN 157 071 (120:120 Ω).
- Metalický kabel TCEPKPFLE 74x4x0,4 mm v délkách 400, 800, 1200, 1600, 2000 a 2400 metrů.
- Adaptivní diferenciální sondy
- Generátor impulsního rušení a modelové rušení AWGN nebo ETSI
- Síťový analyzátor R&S® ZVRE

6.1 Výkonnost přenosu přípojky VDSL2 v závislosti na délce bez translátorů



Obr. 19 Zapojení pro měření výkonosti přenosu bez translátorů.

Cílem bylo zjistit maximální možnou přenosovou rychlost při různých délkách vedení.

Délka vedení [m]	Režim	Profil	Upstream [kbit/s]	Downstream [kbit/s]	SNR upstream [dB]	SNR downstream [dB]
400	auto	30a	79635	79635	9	7
800	auto	30a	38475	38475	6	6
1200	auto	30a	4935	4935	6	7
1600	5/5M	8b	5119	5119	14	30
2000	4/4M	8b	3483	3483	6	21
2400	5/5M	8b	4563	4563	7	16

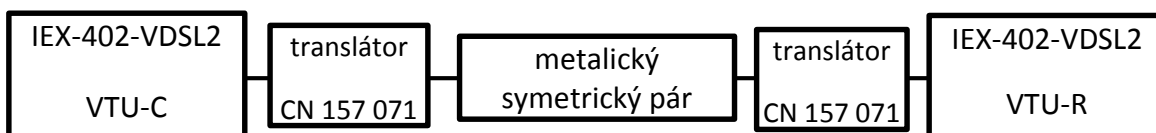
Tab. 2 Dosažené rychlosti přenosu v závislosti na délce vedení v symetrickém režimu bez translátorů.

Délka vedení [m]	Režim	Profil	Upstream [kbit/s]	Downstream [kbit/s]	SNR upstream [dB]	SNR downstream [dB]
400	auto	30a	73499	100996	6	9
800	auto	30a	22110	57320	6	6
1200	30/2,5	8b	2571	3721	18	11
1600	30/2,5	8b	2557	27316	7	6
2000	30/2,5	8b	1907	18585	5	6
2400	10/1M	8b	1021	10238	12	6

Tab. 3 Dosažené rychlosti přenosu v závislosti na délce vedení v asymetrickém režimu bez translátorů.

6.2 Výkonnost přenosu přípojky VDSL2 v závislosti na délce vedení s translátory

Na Obr. 20 je znázorněno zapojení měřící pracoviště pro ověření výkonnosti přenosu s translátory.



Obr. 20 Zapojení pro měření výkonnosti přenosu s translátory.

Délka vedení [m]	Režim	Profil	Upstream [kbit/s]	Downstream [kbit/s]	SNR upstream [dB]	SNR downstream [dB]
400	auto	30a	49742	49742	6	6
800	auto	30a	29666	29666	6	6
1200	20M/20M	30a	4120	4120	6	6
1600	5M/5M	8b	5133	5133	9	28
2000	4M/4M	8b	2243	2243	6	21
2400	4M/4M	8b	1623	1623	6	14

Tab. 4 Dosažené rychlosti přenosu v závislosti na délce vedení v symetrickém režimu s translátory.

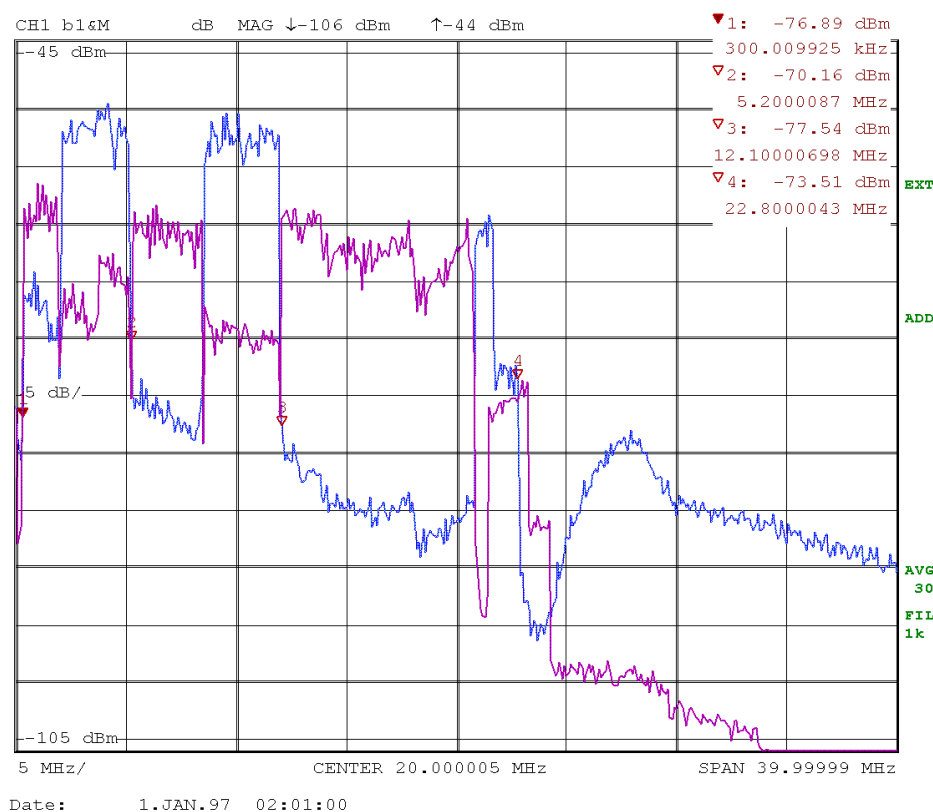
Délka vedení [m]	Režim	Profil	Upstream [kbit/s]	Downstream [kbit/s]	SNR upstream [dB]	SNR downstream [dB]
400	auto	30a	52773	72707	6	6
800	auto	30a	11060	52184	6	6
1200	30M/2,5M	8b	2557	30710	19	17
1600	30M/2,5M	8b	2370	28138	5	6
2000	30M/2,5M	8b	2127	15169	5	6
2400	30M/2,5M	8b	1836	11372	6	6

Tab. 5 Dosažené rychlosti přenosu v závislosti na délce vedení v asymetrickém režimu s translátory.

Z těchto výsledků vyplývá očekávaný závěr, že při zvyšující se délce vedení dochází ke snížení dosažitelné přenosové rychlosti. Důvodem je samozřejmě nárůst útlumu přenosové cesty. Navíc po zapojení translátorů do přenosového řetězce dochází nejen k dalšímu nárůstu vloženého útlumu, ale dochází i k vzniku impedančního nepřizpůsobení vzhledem k různým impedancím vedení (přibližně 100 ohm) a translátorů (150 ohm). To má za následek další snížení maximální možné dosažitelné přenosové rychlosti.

6.3 Využití pásma pro přenos, spektrální maska PSD

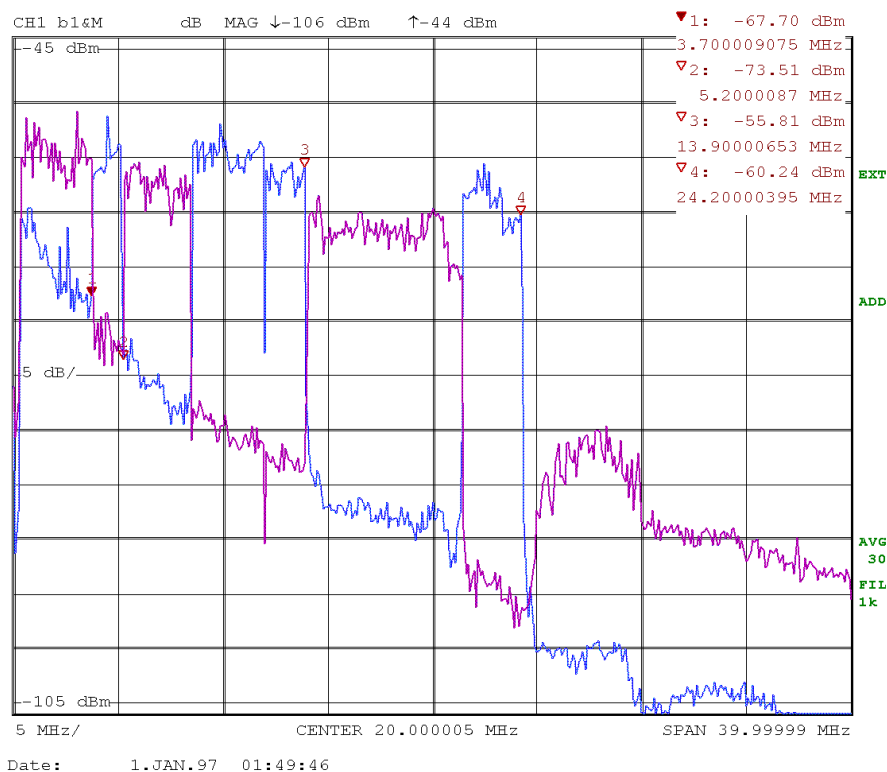
V následujícím měření bylo použito automatické určení maximální přenosové rychlosti na délce vedení 400 metrů. Měření bylo realizováno pro oba způsoby přenosu, asymetrický i symetrický. Dále bylo měřeno zapojení s translátory i bez translátorů. Výsledky jsou vždy zaznamenány do jednoho grafu pro stejné zapojení pásmo upstream (modrý průběh) a downstream (červený průběh). Z naměřených výsledků vyplývá, že jednotlivá pásma se velmi úzce střídají bez zbytečných prodlev a proto je pravděpodobně použita modulace DMT (*Discrete Multi Tone Modulation*). Pro zpracování a zhodnocení výsledků bylo využito i zapojení o jiných délkách a jiných přenosových rychlostech. Všechna měření byla zaznamenána a zapsána a jsou k dispozici na přiloženém médiu. Zde je uvedeno pouze jedno s několika měření pro názornost.



Obr. 21 PSD signálu pro downstream a upstream v symetrickém režimu 60M/60M.

Na Obr. 21 je znázorněna maska spektrální výkonové hustoty (PSD) pro symetrický režim s nastavenými rychlostmi 60 Mbit/s (profil 60M/60M). Délka vedení je 400 metrů bez translátorů, aby byly názorněji rozpoznatelné směry přenosu s ohledem na nižší úroveň signálu od protějšího konce přenosového řetězce. Modrý průběh je zaznamenán u prvku

VTU-C (tzv. DSLAM) a červený je zaznamenán u VTU-R (vzdálený modem). Z obrázku lze vyčíst nejvyšší nosnou frekvenci, která se pohybuje okolo 22 MHz. Při stejném zapojení s asymetrickým profilem rychlosti v režimu auto, který dosáhl rychlostí 100 Mbit/s downstream s 70 Mbit/s upstream je znázorněno na Obr. 22.



Obr. 22 PSD signálu pro downstream a upstream v asymetrickém režimu 100M/70M.

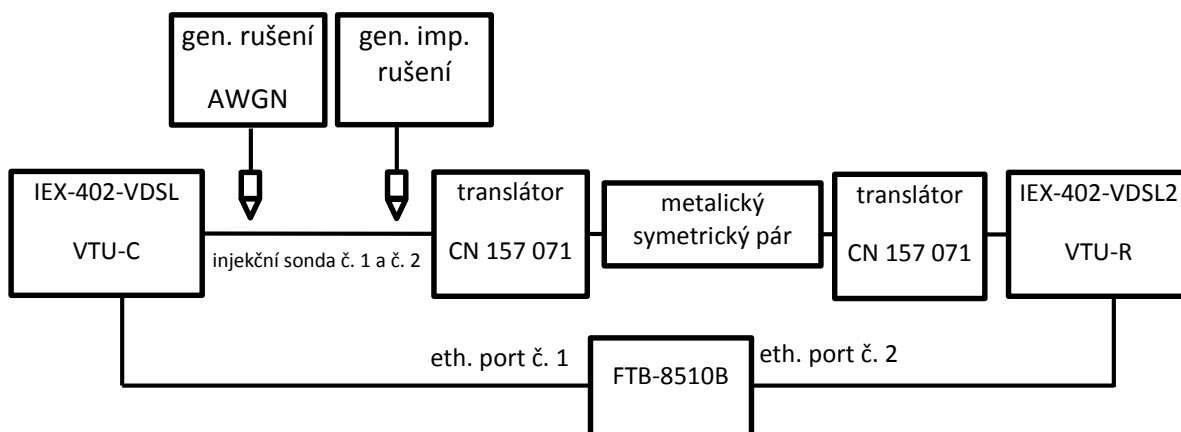
V rámci tohoto měření je možné odvodit závěr, že pro asymetrický režim přenosu dat je použita maska spektrální výkonové hustoty 998E30-M2x-NUS0-M (zkráceně B8-14) plně v souladu s doporučením ITU-T G.993.2.

Pro symetrický režim je však použita atypická a nestandardizovaná maska spektrální výkonové hustoty. Nestandardní je především dělení kmitočtového pásma mezi směr downstream a upstream na hodnotě 2 MHz. Dalším neobvyklým rysem je způsob využití kmitočtového pásma nad 14 MHz, resp. dělicí kmitočty. Jedná se tedy o proprietární řešení ve využití kmitočtového pásma, zřejmě pro zajištění vyšší požadované symetrie přenosových rychlostí.

6.4 Odolnost vůči impulsnímu rušení se šumovým pozadím AWGN

Jak již bylo zmíněno, translátory slouží ke galvanickému oddělení síťového prvku a přenosového traktu. Negativní vliv translátorů na dosažitelnou přenosovou rychlost byl zhodnocen v kapitole 6.2. V následujících testech byly dále zkoumány přenosové parametry přípojky VDSL2 za zhoršených šumových poměrů. Přípojka VDSL2 byla podrobena zaprvé testům se zvýšeným šumovým pozadím AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) a zadruhé testům s rušením dle doporučení ETSI B. Při obou typech rušení bylo navíc do přenosového vedení injektováno impulsní rušení.

Schéma zapojení pracoviště je na Obr. 23 pro směr upstream, pro downstream je totožné, s tím rozdílem, že generátory jsou zapojeny na druhé straně u VTU-R.



Obr. 23 Schéma měření výkonnosti s impulsním rušením a šumovým pozadím AWGN pro směr upstream.

Jako impulsní rušení byl generován Cookův impulz o velikosti amplitud 80, 120 a 320 mV. Šumové pozadí AWGN bylo generováno jako bílý šum o spektrální výkonové hustotě $PSD_{AWGN} = -110$ dBm/Hz.

		Profil	60M/60M	40M/40M	5M/5M	4M/4M	4M/4M	4M/4M
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
Cookův puls 80 mV	VTU-C port 1	Vp [kbps]	44664	18108	4469	2123	1634	1556
		SNR [dB]	6	6	6	7	6	6
		Rx rámce	3195422	13089318	3191714	1515031	1166105	1110159
		EFS	600	600	600	600	600	600
		ES	0	0	0	0	0	0
		SES	0	0	0	0	0	0
		AS	600	600	600	600	600	600
		UAS	0	0	0	0	0	0
		ESR	0	0	0	0	0	0
		SESR	0	0	0	0	0	0
	VTU-R port2	Vp [kbps]	44664	18108	4469	2123	1634	1556
		SNR [dB]	6	6	7	6	23	13
		Tx rámce	31915422	13089318	3191714	1515031	1166105	1110159

Tab. 6 Výsledky měření v pásmu upstream v symetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův puls 80 mV.

		Profil	60M/60M	40M/40M	5M/5M	4M/4M	4M/4M	4M/4M
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
Cookův puls 160 mV	VTU-C port 1	Vp [kbps]	44672	18108	4476	2023	1634	1653
		SNR [dB]	6	6	6	6	6	6
		Rx rámce	31917960	12933607	3196976	1443895	1165043	1179818
		EFS	600	599	600	600	600	600
		ES	0	1	0	0	0	0
		SES	0	1	0	0	0	0
		AS	600	600	600	600	600	600
		UAS	0	0	0	0	0	0
		ESR	0	1,66E-03	0	0	0	0
		SESR	0	1,66E-03	0	0	0	0
	VTU-R port2	Vp [kbps]	44672	18108	4476	2023	1634	1653
		SNR [dB]	6	6	35	30	23	13
		Tx rámce	31917960	12933611	3196976	1443895	1165043	1179818

Tab. 7 Výsledky měření v pásmu upstream v symetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův puls 160 mV.

		Profil	60M/60M	40M/40M	5M/5M	4M/4M	4M/4M	4M/4M
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
Cookův puls 320 mV	VTU-C port 1	Vp [kbps]	44567	18078	4536	2078	1559	1440
		SNR [dB]	6	6	6	6	6	6
		Rx rámce	31806602	12895525	3237321	1481500	1112200	1028065
		EFS	600	600	600	600	600	600
		ES	0	0	0	0	0	0
		SES	0	0	0	0	0	0
		AS	600	600	600	600	600	600
		UAS	0	0	0	0	0	0
		ESR	0	0	0	0	0	0
		SESR	0	0	0	0	0	0
	VTU-R port2	Vp [kbps]	44567	18078	4536	2078	1559	1440
		SNR [dB]	6	6	35	30	23	14
		Tx rámce	31806602	12895525	3237321	1481500	1112200	1028065

Tab. 8 Výsledky měření v pásmu upstream v symetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impuls 320 mV.

Při měření nebyla zaznamenána žádná chyba, kromě jednoho případu, kdy se spíše jedná o náhodnou chybu, než o chybu způsobenou rušením. Měření probíhalo v 10 minutových intervalech. Jedinou nevýhodou při zvýšeném šumu je pokles maximální přenosové rychlosti.

Cookův puls 80 mV	VTU-C port 1	Profil	auto	auto	30/2,5	30/2,5	30/2,5	30/2,5
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
		Vp [kbps]	69466	50600	30710	27980	15520	11671
		SNR [dB]	6	6	10	6	6	6
		Rx rámce	20634478	3695021	1529189	1539801	1107526	1047073
		EFS	600	600	600	600	600	600
		ES	0	0	0	0	0	0
		SES	0	0	0	0	0	0
		AS	600	600	600	600	600	600
		UAS	0	0	0	0	0	0
		ESR	0	0	0	0	0	0
	SESR	0	0	0	0	0	0	
	VTU-R port2	Vp [kbps]	28819	5174	2142	2157	1552	1467
		SNR [dB]	6	6	6	6	6	6
Tx rámce		20634478	3695021	1529189	1539801	1107526	1047073	

Tab. 9 Výsledky měření v pásmu upstream v asymetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impuls 80 mV.

Cookův puls 160 mV	VTU-C port 1	Profil	auto	auto	30/2,5	30/2,5	30/2,5	30/2,5
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
		Vp [kbps]	70541	50719	30710	27943	15370	11697
		SNR [dB]	6	6	10	6	6	6
		Rx rámce	20671744	3699207	1516057	1504993	1124462	1048912
		EFS	600	600	600	600	600	599
		ES	0	0	0	0	0	1
		SES	0	0	0	0	0	1
		AS	600	600	600	600	600	600
		UAS	0	0	0	0	0	0
		ESR	0	0	0	0	00	1,66E-03
	SESR	0	0	0	0	0	1,66E-03	
	VTU-R port2	Vp [kbps]	28978	5182	2123	2108	1574	1470
		SNR [dB]	6	6	5	6	6	6
Tx rámce		20671744	3699207	1516057	1504993	1124462	1048913	

Tab. 10 Výsledky měření v pásmu upstream v asymetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impuls 160 mV.

		Profil	auto	auto	30/2,5	30/2,5	30/2,5	30/2,5
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
Cookův puls 320 mV	VTU-C port 1	Vp [kbps]	70720	51026	30710	27200	14788	11238
		SNR [dB]	6	6	6	6	6	6
		Rx rámce	20752287	3708113	1513360	1497500	1102039	1042289
		EFS	600	600	600	600	600	600
		ES	0	0	0	0	0	0
		SES	0	0	0	0	0	0
		AS	600	600	600	600	600	600
		UAS	0	0	0	0	0	0
		ESR	0	0	0	0	0	0
		SESR	0	0	0	0	0	0
	VTU-R port2	Vp [kbps]	29045	5189	2120	2097	1544	1459
		SNR [dB]	6	6	9	6	6	6
		Tx rámce	20752287	3708113	1513360	1497500	1102039	1042289

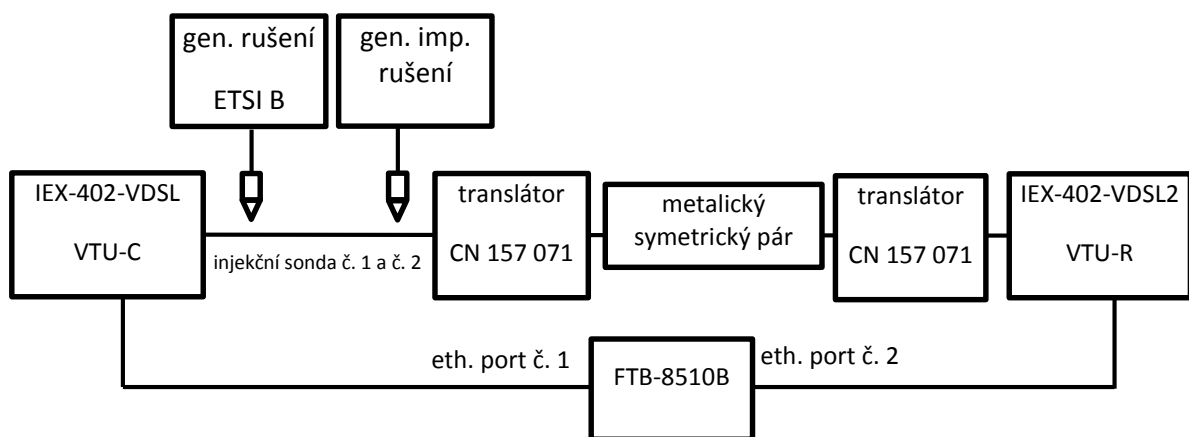
Tab. 11 Výsledky měření v pásmu upstream v asymetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impuls 320 mV.

V asymetrickém režimu se rušení také nijak negativně neprojevilo až na jednu výjimku, kde se spíše jedná o náhodnou chybu. Zároveň je snížena maximální dosažitelná rychlost, ale pouze nepatrně.

Měření ve směr downstream je součástí práce, přidáno jako příloha.

6.5 Odolnost vůči impulsnímu rušení se šumovým pozadím ETSI B

Následující měření je velmi podobné předchozímu, liší se pouze v typu generovaného rušení. Je zde využito rušení ETSI B v souladu s doporučením standardizační organizace.



Obr. 24 Schéma měření výkonosti s impulsním rušením a šumovým pozadím ETSI B pro směr upstream.

		Profil	auto	15M/15M	5M/5M	3M/3M	4M/4M	-
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
Cookův puls 80 mV	VTU-C port 1	Vp [kbps]	51728	15340	5133	720	292	Nespojí se
		SNR [dB]	6	15	14	5	10	
		Rx rámce	36924470	10955754	3663727	514149	208716	
		EFS	597	600	600	599	600	
		ES	3	0	0	1	0	
		SES	3	0	0	1	0	
		AS	600	600	600	600	600	
		UAS	0	0	0	0	0	
		ESR	5,00E-03	0	0	1,66E-03	0	
	SESR	5,00E-03	0	0	1,66E-03	0		
	VTU-R port2	Vp [kbps]	51728	15340	5133	720	292	
		SNR [dB]	6	12	21	25	32	
		Tx rámce	36924492	10955754	3663727	514151	208716	

Tab. 12 Výsledky měření v pásmu upstream v symetrickém režimu s rušením ETSI B a Cookův impulz 80 mV.

		Profil	auto	15M/15M	5M/5M	4M/4M	4M/4M	-
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
Cookův puls 160 mV	VTU-C port 1	Vp [kbps]	50884	15355	5133	292	292	Nezkoušeno viz předešlé
		SNR [dB]	6	12	16	13	7	
		Rx rámce	36298921	10950026	3667411	208030	208919	
		EFS	599	599	596	600	600	
		ES	1	0	4	0	0	
		SES	1	0	4	0	0	
		AS	600	599	600	600	600	
		UAS	0	0	0	0	0	
		ESR	1,66E-03	0	6,66E-03	0	0	
	SESR	1,66E-03	0	6,66E-03	0	0		
	VTU-R port2	Vp [kbps]	50884	15355	5133	292	292	
		SNR [dB]	6	16	10	35	33	
		Tx rámce	36298927	10950026	3667440	208030	208919	

Tab. 13 Výsledky měření v pásmu upstream v symetrickém režimu s rušením ETSI B a Cookův impulz 160 mV.

		Profil	auto	15M/15M	1M/1M	5M/5M	4M/4M	-
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
Cookův puls 320 mV	VTU-C port 1	Vp [kbps]	50802	15355	1021	292	292	Nezkoušeno viz předešlé
		SNR [dB]	6	13	21	12	9	
		Rx rámce	36235464	10961505	727887	207849	208838	
		EFS	0	600	600	600	600	
		ES	0	0	0	0	0	
		SES	0	0	0	0	0	
		AS	0	600	600	600	600	
		UAS	599	0	0	0	0	
		ESR	0	0	0	0	0	
		SESR	0	0	0	0	0	
	VTU-R port2	Vp [kbps]	50802	15355	1021	292	292	
		SNR [dB]	6	15	32	35	33	
		Tx rámce	36243833	10961505	727887	207849	208838	

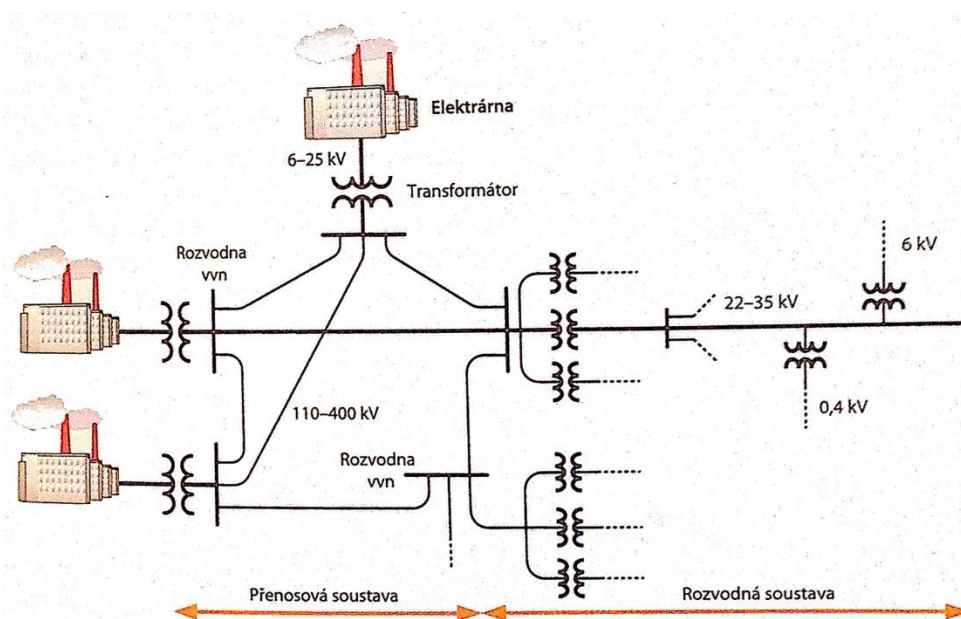
Tab. 14 Výsledky měření v pásmu upstream v symetrickém režimu s rušením ETSI B a Cookův impuls 320 mV.

Výsledky testů ve směru upstream určují, že rušení ETSI B je daleko výraznější než AWGN. Zároveň rušení ETSI B je nejsilnější v pásmu do 2 MHz, proto nejsou modemy se schopny spojit na vzdálenost 2400 metrů, kdy vybrané profily využívají spodní rozsah kmitočtového pásma, ve kterém je generováno rušení.

Pro asymetrický způsob přenosu již nebylo měření s rušením ETSI B realizováno z důvodu nemožnosti ověření chybovosti datového přenosu. Výsledky měření pro pásmo downstream jsou opět uvedené v příloze této práce.

7. Komunikační systémy pro realizaci datových přenosů v elektroenergetice

V České republice je pevně daná struktura rozvodu elektrické energie po celém území. Tato práce pojednává o komunikačních protokolech a úskalích s nimi spojenými při řízení a monitorování naší elektrizační soustavy. Proto si nejdříve popíšeme strukturu sítě a později zařadíme jednotlivé protokoly a technologie přenosu do konkrétních částí elektroenergetické sítě.



Obr. 25 Zjednodušené schéma elektrizační sítě [33]

Elektroenergetickou sítí tvoří elektrárny a další zdroje elektrické energie (např. větrné, solární, přílivové a další), přenosová soustava a distribuční (rozvodná) soustava. Přenosová soustava má na starosti „páteřní“ rozvod elektrické energie velkého výkonu z elektráren do jednotlivých uzlů sítě a případně umožňuje mezinárodní propojení elektrizačních soustav. Přenosová soustava přenáší velmi vysoké napětí o velikosti 400, 220 a 110 kV. Distribuční soustava slouží k distribuci elektrické energie ke koncovým spotřebitelům v rámci regionální a lokální distribuce. Distribuční soustava přenáší tři druhy napětí velmi vysoké napětí, vysoké napětí a nízké napětí v rámci těchto hodnot: 110, 35, 22, 10, 6, 3, 0,4 kV.

Elektrizační soustava tvoří soubor zařízení pro výrobu a přenos energie, transformaci a distribuci elektřiny, včetně přípojek, přímých vedení, měřících systémů, ochranných, řídicích a zabezpečovacích. Všechny tyto systémy musí být spolu propojeny a musíme být schopni je vzdáleně sledovat a řídit v případě poruch a dalších neočekávaných situací. V tomto směru nám pomáhají zkušenosti s oblastí telekomunikační techniky. Pro přenos signalizačních a řídicích zpráv využívá nejrůznější technologie v rámci telekomunikací, jako například SDH, VDSL a případně i technologie pro bezdrátovou komunikaci (GPRS, Wi-Fi).

V rámci dohledu a kontroly správné funkce elektráren jsou zaváděny dohledové systémy. Tyto systémy je možno zpravidla ovládat z centrálního dohledového pracoviště umístěného přímo v elektrárně, případně umožňují vzdálený dohled. Jak je popsáno a znázorněno v kapitole 2.9 pro dohled elektráren je možné využít systémy SCADA. Pro dálkové řízení a propojení geograficky rozlehlých systémů SCADA byl navržen standard IEC 60870-5 popsáný v kapitole 3.2. K připojení většiny čidel a senzorů je použito PLC rozhraní, případně průmyslové sběrnice jako je průmyslový ethernet, viz kapitola 2.2 nebo průmyslová sběrnice PROFINET popsána v kapitole 3.5. V rámci zajištění spolehlivosti přenosu můžou být použity redundantní protokoly HSR a PRP podle standardu IEC 62439-3 popsány v kapitolách 3.3 a 3.4.

Pomocí tohoto rozdělení elektrizační soustavy přiřadíme jednotlivé technologii do jednotlivých částí. V přenosové soustavě jsou vysokofrekvenční napětí, přenosová frekvence elektrické energie je 50 Hz. Proto veškerá zařízení musí být odolná vůči této frekvenci a nesmí je nijak ovlivňovat při přenosu dat. Všechny implementace jsou realizovány nad touto frekvencí. Data jsou přenášena z pravidla kanály o šířce 4 kHz. Lze takto přenést jeden hovor nebo datový tok o rychlosti 2400 kbit/s. Tento způsob byl využíván dříve, kdy jako přenosové prostředí sloužily přímo rozvodové kabely. Dnes je jen málo takto propojených vysokofrekvenčních sítí. Z hlediska přechodu k větší šířce pásma a kapacitě přenosového kanálu je využíváno optických vláken. Tento způsob je velmi vhodný, protože místa jsou v těchto případech velice vzdálena (řádově desítky kilometrů). Optický kabel je přidán do zemního lana. Zpravidla bývá vkládán svazek 12 či 24 (existují i s 48 nebo 96) jednovlákenných optických vláken. Využívají se standardní optická vlákna podle doporučení pro telekomunikace. Pro přenos se využije technologie SDH viz kapitola 2.8 (v ČR konkrétně s STM-4). Lze také využít starší technologii PDH. Přenosovou kapacitu můžeme navýšit pomocí DWDM (*hustý vlnový multiplex*), kdy na jednom vlákně sdružíme více optických signálů o různých vlnových délkách. Trasy jsou obvykle vytvářeny mezi dvěma rozvodnami, kde je koncové zařízení připojeno na optický rozvaděč. V České republice je využívána kruhová konfigurace, součástí celého systému je nepřetržitý dohled a správa sítě. Součástí sítě je i mezinárodní optické propojení. Optická síť je využívána pro provozní služby, přenosy řídicích dat, ochranu vedení, dálkové ovládání míst bez trvalého dohledu. Také je nabízena k pronájmu pro externí zákazníky jako virtuální privátní síť, přenosy kamerových systémů, videokonferencí a mezinárodních spojení.

V distribuční soustavě je mnoho rozveden a transformátorových stanic, kde dochází k distribuci elektrické energie přímo do domácností, podniků a dalších míst. Ve většině takových rozveden je potřeba sledovat a kontrolovat stav sítě, její aktuální vytížení a další důležité parametry. Tyto parametry je potřeba zaznamenávat a přenášet (ideálně v reálném čase) do dohledových středisek. Pro přenos lze využít několik metod. V místech, kde je nový kabelový rozvod lze opět využít optická vlákna a technologii SDH viz kapitola 2.8. Na nových trasách ethernet s optickými vlákny, ale na stávajících nemodernizovaných

vedení se stále využívá metalických vodičů se symetrickými páry a tedy technologie VDSL2. Dále je potřeba komunikace s IED v jednotlivých lokalitách za pomoci Serial Over IP. Pro přenos mezi rozvodnami lze použít metalická vedení a na nich implementovat xDSL služby viz prvky MOXA popsány v kapitole 4.5 a měření přenosu pomocí těchto prvků v kapitole 6. Při propojování ochran rozvodů lze použít standard IEC 61850 popsáný v kapitole 3.1. Některé stávající rozvodny stále používají signály E1, E2 a E3 popsané v kapitole 2.5 a k jejich přenosu je zapotřebí využít paketově orientovanou IP síť. To nám umožňuje technologie TDMoIP (kapitola 2.6).

Případně při redundantním zapojení a využívání kruhových topologií může být implementováno doporučení ITU-T G.8032 popsané v kapitole 3.6 a dále protokol RSTP a jeho vylepšení MSTP popsané v kapitole 3.7.

8. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat problematiku o komunikačních systémech pro realizaci datových přenosů v elektroenergetice. Práce byla rozdělena na tři části. V úvodní části jsou zpracovány a shrnuty teoretické předpoklady různých metod přenosu. Zároveň jsou zde prezentovány energetické sítě budoucnosti takzvané SmartGrids. Součástí je i zmínka o pilotním projektu SmartGrids ve Vrchlabí. Součástí úvodní kapitoly jsou shrnuty přenosové systémy, které lze využít pro přenos zpráv. Mezi nejvýznamnější patří hierarchie přenosu SDH, která využívá k přenosu optická vedení. Předchůdce SDH hierarchie je dnes již málo využívaným, ale stále nalezne uplatnění v místech, kde není dostupná nejmodernější technologie. Zmínka o systémech SCADA je uváděna hlavně z důvodu možnosti pomocí těchto systému řídit provoz elektráren rozvodů a dalších energetických subjektů.

Z protokolů pro přenos zpráv využívaných v energetice bylo vybráno několik se zaměřením na redundanci a dostupnost v reálném čase. Touto problematikou se nejvíce zabývají standardy IEC a jejich různé modifikace. Ať už se jedná o vícenásobné cesty od zdroje k cíli nebo mechanismy pro dosažení přenosu takřka v reálném čase s minimálním zpožděním. V této části se několik problematik prolíná s protokoly využívanými v IP sítích, jako například Spanning Tree Protocol či doporučení ITU-T G.8032.

V praktické části této bakalářské práce bylo realizováno měření s prvky od firmy Westermo, kde hlavním úkolem bylo zjistit, jakým způsobem jsou data ze sériové sběrnice baleny a posílány skrz IP síť. Výsledkem tohoto měření je analýza zachytávaných paketů v programu Wireshark.

Druhá část měření je zaměřena na VDSL prvky od firmy MOXA. Cílem měření bylo ověřit udávané parametry výkonnosti přenosu od výrobce, přehledně zpracovat jednotlivé parametry v závislosti na délce vedení a vyvolaném rušení. Zároveň provést testy vůči rušení a vlivu rušení na kvalitu přenosu. Veškerá tato měření byla prováděna jako základní laboratorní měření, aby se dali stanovit podmínky pro nasazení těchto prvků na testy v reálném prostředí energetického vedení.

Na závěr práce je zpracována úvaha autora nad využitím jednotlivých přenosových systémů a protokolů v rámci energetické sítě v České republice s ohledem na její strukturu a pravděpodobný technický stav.

Seznam zkratek

100BASE-T	100 Mbit/s ethernet
10BASE-T	10 Mbit/s ethernet
AWGN	Additive White Gaussian Noise
CRC	Cyclic redundancy Check
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
DIP	Dual In-line Package
DMT	Discrete Multi Tone Modulation
DSL	Digital Subscriber line
DWDM	Dense wavelength division multiplexing (hustý vlnový multiplex)
E1	Evropský signál PCM 1.řádu
E3	Evropský signál PCM 3.řádu
ERP	Ethernet Protection Ring
FCS	Frame Check Sequence
FDB	Filtering Database
FPGA	Field Programmable Gate Array
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Events
GPS	Global Position Systém
GSSE	Generic Substation Static Events
HMI	Human Machine Interface
HSR	High-availability Seamless Redundancy protocol
IED	Inteligentní elektrické zařízení
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
MII	Media Independent Interface
MSTP	Multiple Spanning Tree Protocol
NTP	Network Time Protocol
PCM	Pulzně kódová modulace
PDH	Plesiochronní digitální hierarchie
PLC	Programmable Logic Controller – programovatelný logický automat
PRP	Parallel Redundancy Protocol
PTR	Pointer (ukazatel)
R-APS	Ring Automatic Protection Switching
RM ISO/OSI	Referenční model ISO/OSI
RPL	Ring Protection Link
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol
RTP	Real-Time Transport Protocol
RTU	Remote Terminal Unit
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition - dispečerské řízení a sběr dat
SDH	Synchronní digitální hierarchie
SONET	Synchronous Optical Network – synchronní optická síť
STA	Spanning Tree Algorithm
STM	Synchronní transportní modul
STP	Spanning Tree Protocol

STP	Shielded Twisted Pair
TCP	Transmission Control Protocol
TDMoIP	Time Division Multiplexing over IP
TOS	Type of Service
TTL	Time To Live
UDP	User Datagram Protocol
UTP	Unshielded Twisted Pair
VDSL	Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1 Místa zavedení inteligentních elektroměrů ČEZ [1].	11
Obr. 2 Struktura rámce PCM 1. řádu [16].	13
Obr. 3 Struktura rámce TDMoIP prostřednictvím Ethernet [24].	14
Obr. 4 Struktura SCADA systému [3].	16
Obr. 5 Ukázka SCADA systému pro vodní elektrárnu od firmy SH CONTROL [4].	17
Obr. 6 Způsob přenosu v protokolu HSR [12].	20
Obr. 7 Struktura ethernetového rámce s využitím HSR [17].	20
Obr. 8 Způsob zapojení zařízení při využití protokolu PRP [12].	21
Obr. 9 Struktura ethernetového rámce s využitím PRP [18].	22
Obr. 10 Kruhová topologie podle doporučení ITU-T G.8032 [19].	23
Tab. 1 Přehled cen linek STP a RSTP protokolu.	24
Obr. 11 Westermo EDW-100 [26].	28
Obr. 12 Westermo LX08-F2G-S2 [26].	29
Obr. 13 MOXA IEX-402-VDSL2 [32].	29
Obr. 14 Zapojení měřícího pracoviště s prvky Westermo L208-F2G-S2.	30
Obr. 15 Zachycený paket, protokol TCP, Westermo L208-F2G-S2, velikost dat 20 bajtů. ...	31
Obr. 16 Zachycený paket, protokol UDP, velikost rámce 40 bajtů.	32
Obr. 17 Zapojení měřícího pracoviště s prvky Westermo EDW-100.	33
Obr. 18 Zachycení paket, Westermo EDW-100, protokol UDP, s koncem paketu.	34
Obr. 19 Zapojení pro měření výkonnosti přenosu bez translátorů.	35
Tab. 2 Dosažené rychlosti přenosu v závislosti na délce vedení v symetrickém režimu bez translátorů.	35
Tab. 3 Dosažené rychlosti přenosu v závislosti na délce vedení v asymetrickém režimu bez translátorů.	36
Obr. 20 Zapojení pro měření výkonnosti přenosu s translátory.	36
Tab. 4 Dosažené rychlosti přenosu v závislosti na délce vedení v symetrickém režimu s translátory.	36
Tab. 5 Dosažené rychlosti přenosu v závislosti na délce vedení v asymetrickém režimu s translátory.	36
Obr. 21 PSD signálu pro downstream a upstream v symetrickém režimu 60M/60M.	37
Obr. 22 PSD signálu pro downstream a upstream v asymetrickém režimu 100M/70M. ...	38
Obr. 23 Schéma měření výkonnosti s impulsním rušením a šumovým pozadím AWGN pro směr upstream.	39
Tab. 6 Výsledky měření v pásmu upstream v symetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův pulz 80 mV.	39
Tab. 7 Výsledky měření v pásmu upstream v symetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův pulz 160 mV.	40
Tab. 8 Výsledky měření v pásmu upstream v symetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impulz 320 mV.	40
Tab. 9 Výsledky měření v pásmu upstream v asymetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impulz 80 mV.	41
Tab. 10 Výsledky měření v pásmu upstream v asymetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impulz 160 mV.	41
Tab. 11 Výsledky měření v pásmu upstream v asymetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impulz 320 mV.	42

Obr. 24 Schéma měření výkonnosti s impulsním rušením a šumovým pozadím ETSI B pro směr upstream.	42
Tab. 12 Výsledky měření v pásmu upstream v symetrickém režimu s rušením ETSI B a Cookův impulz 80 mV.	43
Tab. 13 Výsledky měření v pásmu upstream v symetrickém režimu s rušením ETSI B a Cookův impulz 160 mV.	43
Tab. 14 Výsledky měření v pásmu upstream v symetrickém režimu s rušením ETSI B a Cookův impulz 320 mV.	44
Obr. 25 Zjednodušené schéma elektrizační sítě [33]	45
Tab. 15 Přehled nastavení vysílaných dat pro přepínač Westermo L208-F2G-S2	64
Obr. 26 Paket, TCP protokol, délka dat 50 bajtů	64
Obr. 27 Paket, protokol UDP, délka 40 bajtů, špatně rozpoznáný.....	64
Tab. 16 Přehled nastavení vysílaných dat pro konvertor Westermo EDW-100.....	65
Obr. 28 Časový odstup mezi pakety	65
Tab. 17 Výsledky měření v pásmu downstream v symetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impulz 80 mV.	66
Tab. 18 Výsledky měření v pásmu downstream v symetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impulz 160 mV.	66
Tab. 19 Výsledky měření v pásmu downstream v symetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impulz 320 mV.	67
Tab. 20 Výsledky měření v pásmu downstream v symetrickém režimu s rušením ETSI B a Cookův impulz 80 mV.	68
Tab. 21 Výsledky měření v pásmu downstream v symetrickém režimu s rušením ETSI B a Cookův impulz 160 mV.	68
Tab. 22 Výsledky měření v pásmu downstream v symetrickém režimu s rušením ETSI B a Cookův impulz 320 mV.	69

Seznam použitých zdrojů

- [1] ČEZ A.S. *Pilotní projekty ČEZ Smart Grids* [online]. [cit. 2013-12-02]. Dostupné z: <http://www.futuremotion.cz/smartgrids/cs/smart-metering.html>
- [2] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Synchronizace v distribuovaných řídicích systémech: Precision Time Protocol (PTP) podle IEEE 1588. *Automa*. 2010, roč. 2010, č. 2, s. 17-19.
- [3] BALDA, Pavel. *Informační a řídicí systémy I. SCADA a HMI systémy*. ZČU v Plzni. Dostupné z: http://vendulka.zcu.cz/Download/Free/IRS1/IRS1-08_SCADA_HMI.pdf. Materiály pro přednášku. ZČU Plzeň.
- [4] Malé vodní elektrárny. *SH Control s.r.o.* [online]. [cit. 2013-12-02]. Dostupné z: http://www.shcontrol.cz/cz/article.asp?article_id=18&lang_id=1
- [5] STODŮLKA, Ivo. *MODEL ELEKTRICKÉ STANICE S KOMUNIKAČNÍM PROTOKOLEM IEC 61850*. Brno, 2012. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52341. Diplomová práce. VUT Brno. Vedoucí práce doc. Ing. JAROSLAVA ORSÁGOVÁ, Ph.D.
- [6] FORGUE, Bruno a Pavel VLADYKA. IEC 61850: soubor norem pro komunikaci v energetice s velkým potenciálem výhod. *Automa*. 2010, roč. 2010, č. 3, s. 10-12.
- [7] RUDZINSKI, Yvan a Pavel VLADYKA. Komunikační protokoly pro dálkové ovládání IEC/ISO 60870-5. *Automa*. 2010, roč. 2010, č. 2, s. 21-22.
- [8] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet I: Historický úvod. *Automa*. 2007, roč. 2007, č. 1, s. 41-43.
- [9] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet II: Referenční model ISO/OSI. *Automa*. 2007, roč. 2007, č. 3, s. 86-90.
- [10] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet III: Fyzické provedení sítě Ethernet. *Automa*. 2007, roč. 2007, č. 6, s. 41-44.
- [11] ZEŽULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet IV: Principy průmyslového Ethernetu. *Automa*. 2007, roč. 2007, č. 10, s. 57-60.
- [12] *Applying PRP and HSR Protocol for Redundant Industrial Ethernet* [online]. [cit. 2013-12-02]. Dostupné z: http://www.netmodule.com/en/technologies/interfaces_networks/IEC62439.html;jsessionid=5DDF5ED2D76CF3C51A614F2239AD251A
- [13] PROFINET - Industry Automation & Drive Technologies - Siemens. *Siemens* [online]. [cit. 2013-12-06]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/?ctxnh=bae95e75f4&ctxp=home>
- [14] Profifont, Profibus, Profisafe. *FESTO Czech Republic* [online]. [cit. 2013-12-06]. Dostupné z: http://www.festo.com/cms/cs_cz/17075_17118.htm#id_17118
- [15] VODRÁŽKA, Jiří. *Synchronní digitální hierarchie (SDH)* [online]. 2007 [cit. 2014-01-14]. Dostupné z: <http://moodle.kme.fel.cvut.cz/moodle/mod/scorm/player.php?a=312¤torg=LINEAR&scoid=10583>
- [16] PRAVDA, Ivan. *Telefonní kanál a metodika digitalizace telefonního kanálu*. Praha, 2013. Přednášky předmětu A2B32TSI. ČVUT fakulta Elektrotechnická.
- [17] KIRRMANN, Hubert. HSR-High Availability seamless Redundancy: Fault-tolerance in Ethernet networks IEC 62439-3. In: [online]. 2012 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: http://web.archive.org/web/20110819192800/http://lamspeople.epfl.ch/kirrmann/Pubs/IEC_61439-3/IEC_62439-3.5_HSR_Kirrmann.ppt
- [18] KIRRMANN, Hubert. Highly Available Automation Networks, Standard Redundancy Methods: Rationales behind the IEC 62439 standard suite. In: [online]. 2012 [cit. 2014-01-16]. Dostupné z: http://lamspeople.epfl.ch/kirrmann/Pubs/IEC_62439/IEC_61439-1/IEC_62439_Summary.ppt
- [19] Carrier Ethernet Configuration Guide, Cisco IOS XE Release 3S: ITU-T G.8032 Ethernet Ring Protection Switching. CISCO. [online]. [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.cisco.com/en/US/docs/ios-xml/ios/cether/configuration/xe-3s/ce-g8032-ering-pro.html>

- [20] BOUŠKA, Petr. Cisco IOS 9 - Spanning Tree Protocol. *SAMURAJ-cz* [online]. [cit. 2014-01-18]. Dostupné z: <http://www.samuraj-cz.com/clanek/cisco-ios-9-spanning-tree-protocol/>
- [21] BOUŠKA, Petr. Cisco IOS 10 - Rapid Spanning Tree Protocol. *SAMURAJ-cz* [online]. [cit. 2014-01-18]. Dostupné z: <http://www.samuraj-cz.com/clanek/cisco-ios-10-rapid-spanning-tree-protocol/>
- [22] KUBÍN, Roman a Michal ROHÁČ. *Rapid Spanning Tree Protocol (802.1w)* [online]. FEI VŠB–TU Ostrava, 2005 [cit. 2014-01-18]. Dostupné z: <http://www.cs.vsb.cz/grygarek/SPS/projekty0405/RSTP-Kubin-Rohac.pdf>. Projekt. FEI VŠB–TU Ostrava.
- [23] VODRÁŽKA, Jiří. Přenos E1 přes sítě IP (TDMoIP). [online]. 2006 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006110003>
- [24] How to Make the DS34S132 TDM-over-Packet (TDMoP) IC Interoperable with Other Vendors' TDMoP Devices. [online]. 2010 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: <http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/4785>
- [25] *Time Division Multiplexing over IP (TDMoIP)*. 2007. Dostupné z: <http://www.ietf.org/rfc/rfc5087.txt>
- [26] *Westermo - Industrial networking solutions, industrial ethernet switches and routers* [online]. [cit. 2014-02-22]. Dostupné z: <http://www.westermo.com/>
- [27] *Siemens Česká republika* [online]. [cit. 2014-02-22]. Dostupné z: <http://www.siemens.com/answers/cz/cz/>
- [28] *Hirschmann - a Belden Brand* [online]. [cit. 2014-02-22]. Dostupné z: <http://www.hirschmann.com/>
- [29] *Moxa - Device Networking for Industry: device server, industrial ethernet switch*. [online]. [cit. 2014-02-22]. Dostupné z: <http://www.moxa.com/>
- [30] *Lantech Communications Global Inc* [online]. [cit. 2014-02-22]. Dostupné z: <http://www.lantechcom.tw/global/eng/index.html>
- [31] *N-Tron :: The Industrial Network Experts* [online]. [cit. 2014-02-22]. Dostupné z: <http://www.n-tron.com/>
- [32] IEX-402-VDSL2_Series Managed VDSL2 Ethernet extenders. *MOXA* [online]. [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: http://www.moxa.com/product/IEX-402-VDSL2_Series.htm
- [33] SVOBODA, Jaroslav. *Využívání silnoproudých vedení a sítí pro přenos zpráv*. Vyd. 1. V Praze: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2012, 229 s. ISBN 978-80-01-05168-9.

Seznam příloh

Příloha č. 1 EDW-100 specifikace

Příloha č. 2 L208-F2G-S2 specifikace

Příloha č. 3 Měření s prvky Westermo L208-F2G-S2

Příloha č. 4 Měření s prvky Westermo EDW-100

Příloha č. 5 Výsledky měření s rušením AWGN v pásmu downstream.

Příloha č. 6 Výsledky měření s rušením ETSI B v pásmu downstream.

Příloha č. 7 Struktura uložení dokumentace a záznamů z měření na CD

Příloha č. 1 EDW-100 specifikace

Ports	1 x 4-position detachable screw terminal, RS-422/485 1 x 9-pin D-sub, RS-232 1 x RJ-45, Ethernet
EMC (Electromagnetic Compatibility)	
EN 61000-6-2	Immunity industrial environments
EN 61000-6-4	Emission industrial environments
EN 55024	Immunity IT equipment
EN 50121-4	Railway signalling and telecommunications apparatus
IEC 62236-4	Railway signalling and telecommunications apparatus
EMC specifications	
EN 61000-4-2, ESD	Enclosure contact, ± 6 kV Enclosure air, ± 8 kV
IEC 61000-4-3, RF field AM modulated	Enclosure: 20V/m 80% AM (1 kHz), 80 – 2 000 MHz 12V/m 80% AM (1 kHz), 2 000 – 2 700 MHz
ENV 50204, RF field 900 MHz	Enclosure, 20 V/m pulse modulated 200 Hz, 900 \pm 5 MHz
EN 61000-4-4, fast transients	Signal ports, ± 2 kV Power ports, ± 2 kV
EN 61000-4-5, surge	Signal ports unbalanced, ± 2 kV line to earth, ± 2 kV line to line Signal ports balanced, ± 2 kV line to earth, ± 1 kV line to line Power ports, ± 2 kV line to earth, ± 2 kV line to line
EN 61000-4-6, conducted RF immunity	Signal ports, 10 V 80% AM (1 kHz), 0.15 – 80 MHz Power ports, 10 V 80% AM (1 kHz), 0.15 – 80 MHz
EN 61000-4-9, pulsed magnetic field	Enclosure, 1000 A/m, 6.4 / 16 μ s pulse
EN 61000-4-29, voltage dips and interruption	DC power ports: 10 & 100 ms, interruption 10 ms, 30% reduction 10 ms, 60% reduction +20% above & -20% below rated voltage
EN 55022, radiated RF emission	Enclosure, class A
FCC part 15, radiated RF emission	Enclosure, class A
EN 55022, conducted emission	DC power ports, class B
Safety	
EN 60950-1, dielectric strength	Signal port to other isolated ports, 1.5 kVrms 50 Hz 1 min Power port to other isolated ports, 2 kVrms 50 Hz 1 min
Safety	UL/CSA/IEC/EN 60950-1, IT
Climatic	
Temperature, operating	Operating, -25 to +70°C (-13 to +158°F)
Temperature, storage	Storage & Transport, -40 to +70°C (-40 to +158°F)
Humidity, operating	Operating, 5 to 95% relative humidity
Humidity, storage	Storage & Transport, 5 to 95% relative humidity
Enclosure	

Příloha č. 1 EDW-100 specifikace

Enclosure	UL 94, PC / ABS, flammability class V-1
Dimensions (W x H x D)	34 x 123 x 121 mm (1.33 x 4.84 x 4.76 in)
Weight	0.2 kg
Degree of protection	IP 21
Cooling	Convection
Mounting	Horizontal on 35 mm DIN-rail
Mechanical	
IEC 60068-2-6, vibration	Operating: 7.5 mm, 5 – 8 Hz 2 g, 8 – 500 Hz
IEC-60068-2-27, shock	Operating, 15 g, 11 ms
Interface specifications, power	
Rated voltage	12 to 48 VDC
Operating voltage	10 to 60 VDC
Rated current	250 mA @ 12 VDC 125 mA @ 24 VDC 63 mA @ 48 VDC
Rated frequency	DC
Inrush current	0.3 A ² s @ 48 VDC, @ 10 ms
Startup current	-
Polarity	Reverse polarity protected
Redundant power input	Yes
Isolation to	All other 2 k Vrms
Connection	Detachable screw terminal
Connector size	0.2 – 2.5 mm ² (AWG 24 – 12)
Shielded cable	-
Interface specifications, RS-422/485	
Electrical specification	EIA RS-485 2-wire or 4-wire twisted pair
Data rate	300 bit/s to 115.2 kbit/s
Data format	7 or 8 data bits, Odd, even or none parity, 1 or 2 stop bits.
Protocol	Transparent, optimised by packing algorithm
Retiming	Not applicable
Turning time	< 3 bits
Circuit type	TNV-1
Transmission range	≤ 1200 m, depending on data rate and cable type (EIA RS-485)
Settings	120 Ω termination and fail-safe biasing 680 Ω
Protection	Installation Fault Tolerant (up to ±60 V)
Isolation to	Power: 2 kV Ethernet: 1; 1.5 k Vrms
Connection	Detachable screw terminal
Connector size	0.2 – 2.5 mm ² (AWG 24 – 12)
Shielded cable	Not required, except when installed in Railway applications as signalling and telecommunications apparatus and located close to rails.

Příloha č. 1 EDW-100 specifikace

Conductive housing	No
Interface specifications, RS-232	
Electrical specification	EIA RS-232
Data rate	300 bit/s – 115.2 kbit/s
Data format	7 or 8 data bits, Odd, even or none parity, 1 or 2 stop bits.
Protocol	Transparent, optimised by packing algorithm
Retiming	Not applicable
Circuit type	SELV
Transmission range	15 m / 49 ft
Isolation to	Power 2 kV Ethernet 1; 1.5 kVrms
Connection	9-pin D-sub male (DTE)
Shielded cable	Not required, except when installed in Railway applications as signalling and telecommunications apparatus and located close to rails.
Conductive housing	Isolated to all other circuits
Number of ports	1
Interface specifications, 10/100BaseTX	
Electrical specification	IEEE std 802.3. 2000 Edition
Data rate	10 Mbit/s or 100 Mbit/s, auto-negotiated or manually set by DIP-switches
Protocol	UDP, TCP, ICMP, HTTP and ARP
Duplex	Full- or half duplex, auto-negotiated or manually set by DIP-switches
Circuit type	TNV-1
Transmission range	100 m
Isolation to	Power 2 kVrms RS-232 1.5 kVrms RS-422/485 1.5 kVrms
Connection	RJ-45 shielded, auto MDI/MDI-X
Shielded cable	Not required, except when installed in Railway applications as signalling and telecommunications apparatus and located close to rails.
Conductive housing	Isolated to all other circuits

Product description	
Status	Active
Article number	3643-0205
Ports	6 x RJ-45, 10/100BaseT. 2 x SFP, 100/1000 Mbit/s. 2 x RJ-45, RS-232/422/485.
Description	Managed Device Server Switch with routing functionality
Warranty period	5 years
Approvals	
Marine	DNV Standard for Certification no. 2.4
EMC (Electromagnetic Compatibility)	
EN 61000-6-1	Immunity residential environments
EN 61000-6-2	Immunity industrial environments
EN 61000-6-3	Emission residential environments
EN 61000-6-4	Emission industrial environments
EN 55022 +A1	Emission IT equipment
EN 55024 + A1 + A2	Immunity IT equipment
FCC part 15	Class B
EN 50121-4	Railway signalling and telecommunications apparatus
IEC 62236-4	Railway signalling and telecommunications apparatus
EMC specifications	
EN 61000-4-2, ESD	Contact: ± 6 kV Air: ± 8 kV
EN 61000-4-4, fast transients	Power port: ± 2 kV Ethernet: ± 2 kV Status out/Digital in: ± 2 kV Serial ports: ± 2 kV Enclosure: ± 2 kV
EN 61000-4-5, surge	Power port L-L: ± 0.5 kV, 2 Ω , 18 μ F L-E: ± 2 kV, 42 Ω , 0.5 μ F L-L: ± 1 kV, 42 Ω , 0.5 μ F L-E: ± 2 kV, 12 Ω , 9 μ F L-L: ± 1 kV, 12 Ω , 9 μ F Ethernet L-E: ± 2 kV, 2 Ω , 0.5 μ F Status out/Digital in L-E: ± 2 kV, 42 Ω , 0.5 μ F L-L: ± 1 kV, 42 Ω , 0.5 μ F RS-232 L-E: ± 2 kV, 2 Ω , 0.5 μ F

Příloha č. 2 L208-F2G-S2 specifikace

	RS-422/485 L-E: ± 2 kV, 42 Ω , 0.5 μ F
EN 61000-4-8, power frequency magnetic field	300 A/m; 0, 16.7, 60 Hz 1000 A/m; 50 Hz
EN 61000-4-9, pulsed magnetic field	300 A/m
EN 61000-4-3, radiated RF immunity	20 V/m @ (80 – 2700) MHz 1 kHz sine, 80% AM
EN 61000-4-6, conducted RF immunity	Power port: 10 V, 80% AM, 1 kHz; (0.15 – 80) MHz Ethernet: 10 V, 80% AM, 1 kHz; (0.15 – 80) MHz Status out/Digital in: 10 V, 80% AM, 1 kHz; (0.15 – 80) MHz Serial ports: 10 V, 80% AM, 1 kHz; (0.15 – 80) MHz Earth port: 10 V, 80% AM, 1 kHz; (0.15 – 80) MHz
EN 55022, radiated RF emission, FCC Part 15/ DNV 2.4	EN 55022/FCC Part 15/DNV 2.4, Class B / DNV bridge
EN 55022, conducted RF emission, FCC Part 15/ DNV 2.4	EN 55022/FCC Part 15/DNV 2.4, Class B / DNV bridge
DNV 2.4, compass safe distance	Standard compass (5.4°/H deviation) = 15 cm Steering/standby steering/emergency compass (18°/H deviation) = 10 cm
Safety	
Safety	UL/IEC/EN 60950-1, IT equipment
EN 60950-1, dielectric strength	Power port to all other ports: 1.5 kVrms, 50 Hz, 1 min Ethernet ports to all other ports: 1.5 kVrms, 50 Hz, 1 min RS-232 port to all other ports: 1.5 kVrms, 50 Hz, 1 min RS-422/485 port to all other ports: 1.5 kVrms, 50 Hz, 1 min
Reliability prediction	
MTBF, operating	517 000 h (MIL-HDBK-217F (Gb) 25°C)
Service life, operating	10 years
Climatic	
Temperature, operating	-40 to +70°C (-40 to +158°F)
Temperature, storage	-50 to +85°C (-58 to +185°F)
Humidity, operating	5 to 95 % relative humidity
Humidity, storage	5 to 95 % relative humidity
Enclosure	
Enclosure	Fire enclosure
Dimensions (W x H x D)	52.5 x 100 x 101 mm
Weight	0.7 kg
Degree of protection	IP 40
Cooling	Convection
Mounting	Horizontal on 35 mm DIN-rail
Mechanical	
IEC 60068-2-6, vibration	IEC 60068-2-6,(sine), operating 3 – 13.2 Hz: 1mm 13.2 – 100 Hz: 0.7 g

	<p>5.5 – 30 Hz: 1.5 g 30 – 50 Hz: 0.42 mm 50 – 500 Hz: 4.2 g</p> <p>IEC 60068-2-64 (random), operating 5 – 20 Hz: 2 m²/s³, 20 – 2000 Hz: – 3 dB/oct</p>
IEC-60068-2-27, shock	Operating: 30 g, 11 ms 100 g, 6 ms**
IEC 60068-2-27, bump	Operating: 10 g, 11 ms
Interface specifications, power	
Operating voltage	Rated: 24 to 48 VDC Operating: 19 to 60 VDC
Rated current	250 mA (380 mA) @ 24 VDC (with 500 mA USB load) 120 mA (188 mA) @ 48 VDC (with 500 mA USB load)
Rated frequency	DC
Inrush current	22.7·10 ⁻³ A2s @ 48 VDC
Startup current	2 x Rated current
Polarity	Reverse polarity protected
Redundant power input	Yes
Isolation to	All other
Connection	Detachable screw terminal
Connector size	0.2 – 2.5 mm ² (AWG 24 – 12)
Shielded cable	Not required
Interface specifications, 10/100BaseTX	
Electrical specification	IEEE std 802.3. 2005 Edition
Data rate	10 Mbit/s, 100 Mbit/s, manual or auto
Duplex	Full or half, manual or auto
Circuit type	TNV-1
Transmission range	Up to 150 m with CAT5e cable or better*
Isolation to	All other
Connection	RJ-45, auto MDI/MDI-X
Cabling	Shielded CAT5e or better is recommended
Conductive housing	Yes
Number of ports	4
Interface specifications, 100/1000SFP	
Optical/Electrical specification	IEEE std 802.3. 2005 Edition
Data rate	100 Mbit/s or 1000 Mbit/s transceivers supported
Duplex	Full or Auto, depending on transceiver
Transmission range	Depending on transceiver

Connection	SFP slot holding fibre transceiver or copper transceiver
Number of ports	1 or 2
Interface specifications, RS-232	
Electrical specification	EIA RS-232
Data rate	300 bit/s – 115.2 kbit/s
Data format	7 or 8 data bits, Odd, even or none parity, 1 or 2 stop bits
Protocol	Transparent, optimised by packing algorithm
Circuit type	SELV
Transmission range	15 m / 49 ft
Isolation to	All other
Connection	RJ-45 according to EIA-561
Shielded cable	Recommended
Conductive housing	Yes
Number of ports	1
Interface specifications, RS-422/485	
Electrical specification	Configurable for EIA RS-232 or EIA RS-422/485
Data rate	50 bit/s – 2 Mbit/s
Data format	7 or 8 data bits, Odd, even or none parity, 1 or 2 stop bits (2 stop bits only when no parity is set)
Circuit type	TNV-1
Transmission range	Up to 1200 m / 0.74 mi, depending on data rate and cable type
Isolation to	All other
Connection	RJ-45 according to EIA-561
Shielded cable	Not required, but recommended in railway installations close to the rails.
Conductive housing	Yes
Number of ports	1
Interface specifications, I/O relay output	
Maximum voltage / current	60 VDC / 80 mA
Connect resistance	Max 30 Ω
Isolation to	All other
Connection	Detachable screw terminal
Connector size	0.2 – 2.5 mm ² (AWG 24 – 12)
Interface specifications, I/O Digital output	
Maximum volt / current	60 VDC / 2 mA
Voltage_levels	Logic one: >12V Logic zero: <1V
Isolation to	All other
Connection	Detachable screw terminal

Příloha č. 2 L208-F2G-S2 specifikace

Connector size	0.2 – 2.5 mm ² (AWG 24 – 12)
Interface specifications, USB	
Electrical specification	USB 2.0 host interface
Data rate	Up to 12 Mbit/s (full-speed mode)
Circuit type	SELV
Maximum supply current	500 mA
Connection	USB receptacle connector type A
Interface specifications, console	
Electrical specification	LVTTTL/LVCMOS-level
Data rate	115.2 kbit/s
Data format	8 data bits, no parity, 1 stop bit, no flow control
Circuit type	SELV
Connection	2.5 mm jack, use only Westermo cable 1211-2027

Název souboru	Délka dat v paketu [bajtů]	Čas čekání před odesláním [ms]	Velikost kódového slova [bit]	Kódové slovo	Rychlost sériové linky [bit/s]
L208_tcp_20bytes	20	10	8	01010101	19200
L208_tcp_4bytes	4	10	4	1000	19200
L208_udp_40bytes	40	10	4	1000	19200
L208_tcp_50bytes	50	1	4	1010	50
L208_tcp_50bytes_500ms	50	500	4	1010	50
L208_udp_50bytes	50	1	4	1010	50
L208_udp_50bytes_500ms	50	500	4	1010	50

Tab. 15 Přehled nastavení vysílaných dat pro přepínač Westermo L208-F2G-S2

Tab. 15 je shrnuto nastavení pro jednotlivé záznamy zachycených paketů. Na jednotlivých změnách bylo zjištěno, že pokud čeká na zabalení paketu kratší dobu přichází pakety častěji a jsou i menší, když je i zpomalená rychlost sériové linky. Dále je sledován vliv změny velikosti dat balených do paketu. Tam nebyla zjištěna žádná změna jen se pakety posílají častěji s ohledem na rychlost jejich plnění a pakety podle nastavení mění svou velikost.

```

⊞ Frame 15: 116 bytes on wire (928 bits), 116 bytes captured (928 bits) on interface 0
⊞ Ethernet II, Src: Westermo_05:ad:41 (00:07:7c:05:ad:41), Dst: Westermo_01:63:a1 (00:07:7c:01:63:a1)
⊞ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.23.82 (192.168.23.82), Dst: 192.168.23.81 (192.168.23.81)
⊞ Transmission Control Protocol, Src Port: 55620 (55620), Dst Port: cslistener (9000), Seq: 51, Ack: 1, Len: 50
⊞ Data (50 bytes)
    Data: 5555555555555555555555555555555555555555555555555555555...
        [Length: 50]
    
```

Obr. 26 Paket, TCP protokol, délka dat 50 bajtů

```

⊞ Frame 4: 82 bytes on wire (656 bits), 82 bytes captured (656 bits) on interface 0
⊞ Ethernet II, Src: Westermo_05:ad:41 (00:07:7c:05:ad:41), Dst: Westermo_01:63:a1 (00:07:7c:01:63:a1)
⊞ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.23.82 (192.168.23.82), Dst: 192.168.23.81 (192.168.23.81)
⊞ User Datagram Protocol, Src Port: cslistener (9000), Dst Port: cslistener (9000)
⊞ Packet Cable Lawful Intercept
⊞ Internet Protocol Version 4, Src: 136.136.136.136 (136.136.136.136), Dst: 136.136.136.136 (136.136.136.136)
⊞ Data (4 bytes)
    
```

```

0000  00 07 7c 01 63 a1 00 07 7c 05 ad 41 08 00 45 00  ..|.C... |..A..E.
0010  00 44 00 00 40 00 40 11 8a b5 c0 a8 17 52 c0 a8  .D..@.@. ....R..
0020  17 51 23 28 23 28 00 30 5e 9f 88 88 88 88 88 88  .Q#(#(.0 ^.....
0030  88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88  .....
0040  88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88  .....
0050  88 88  ..
    
```

Obr. 27 Paket, protokol UDP, délka 40 bajtů, špatně rozpoznáný

Měření v pásmu downstream bylo prováděno pouze v synchronním režimu. Pro asymetrickém režim nemělo smysl měřit toto pásmo, jelikož analyzátor vykazoval rychlost na druhé vrstvě symetrickou. Pravděpodobně došlo k chybě ve firmwaru prvků MOXA. Bylo vyzkoušeno a zjištěno, že na zařízeních je nainstalován nejnovější firmware dostupný na stránkách výrobce.

		Profil	60M/60M	40M/40M	5M/5M	4M/4M	4M/4M	4M/4M
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
Cookův puls 80 mV	VTU-C port 1	Vp [kbps]	42269	18339	5133	5133	2285	1623
		SNR [dB]	6	6	6	6	6	6
		Tx rámce	30175845	13088727	3362936	3664619	1631290	1157752
	VTU-R port2	Vp [kbps]	42269	18339	5133	5133	2285	1623
		SNR [dB]	6	6	6	6	6	6
		Rx rámce	30175845	13088727	3362936	3664619	1631267	1157752
		EFS	600	600	600	600	598	600
		ES	0	0	0	0	0	0
		SES	0	0	0	0	0	0
		AS	600	600	600	600	599	600
		UAS	0	0	0	0	0	0
		ESR	0	0	0	0	1,66E-03	0
		SESR	0	0	0	0	1,66E-03	0

Tab. 17 Výsledky měření v pásmu downstream v symetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impulz 80 mV.

		Profil	60M/60M	40M/40M	5M/5M	4M/4M	4M/4M	4M/4M
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
Cookův puls 160 mV	VTU-C port 1	Vp [kbps]	48532	22969	5133	4092	1881	1489
		SNR [dB]	7	6	24	12	6	6
		Tx rámce	34661421	16402424	3663439	2918644	1343142	1063363
	VTU-R port2	Vp [kbps]	48532	22969	5133	4092	1881	1489
		SNR [dB]	6	6	27	23	12	6
		Rx rámce	34661407	16402420	3663439	2918644	1343142	1063363
		EFS	598	599	600	600	600	600
		ES	2	1	0	0	0	0
		SES	2	1	0	0	0	0
		AS	600	600	600	600	600	600
		UAS	0	0	0	0	0	0
		ESR	3,33E-03	1,66E-03	0	0	0	0
		SESR	3,33E-03	1,66E-03	0	0	0	0

Tab. 18 Výsledky měření v pásmu downstream v symetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impulz 160 mV.

Příloha č. 5 Výsledky měření s rušením AWGN v pásmu downstream.

		Profil	60M/60M	40M/40M	5M/5M	4M/4M	4M/4M	4M/4M
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
Cookův puls 320 mV	VTU-C port 1	Vp [kbps]	48726	23035	5133	4092	1899	1489
		SNR [dB]	7	6	24	11	6	6
		Tx rámce	34815707	16432631	3661887	2920348	1357268	1063753
	VTU-R port2	Vp [kbps]	48726	23035	5133	4092	1899	1489
		SNR [dB]	6	6	27	23	12	12
		Rx rámce	34815692	16432615	3661887	2920348	1357268	1063753
		EFS	598	595	599	600	600	600
		ES	2	5	0	0	0	0
		SES	2	5	0	0	0	0
		AS	600	600	599	600	600	600
		UAS	0	0	0	0	0	0
		ESR	3,33E-03	8,33E-03	0	0	0	0
		SESR	3,33E-03	8,33E-03	0	0	0	0

Tab. 19 Výsledky měření v pásmu downstream v symetrickém režimu s rušením AWGN a Cookův impulz 320 mV.

Z výsledků vyplývá, že na bližších vzdálenostech 400 a 800 metrů dochází většinou k špatným přenosům. Jako jeden z důvodů proč dochází ke ztrátám na kratší vzdálenosti, může být fakt, že využívá vyšší profily přenosové rychlosti a tím širší kmitočtové pásmo řádově do 20 MHz.

Měření v pásmu downstream bylo uskutečněno stejně jako pro pásmo upstream, s tím rozdílem, že generátory rušení byly připojeny na opačnou stranu přenosového řetězce.

		Profil	Auto	40M/40M	5M/5M	4M/4M	-	-
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
Cookův puls 80 mV	VTU-C port 1	Vp [kbps]	49420	21036	5133	4092	Nespojí se	Nespojí se
		SNR [dB]	6	6	23	11		
		Tx rámce	35313384	155005643	4584061	2922478		
	VTU-R port2	Vp [kbps]	49420	21036	5133	4092		
		SNR [dB]	6	6	13	10		
		Rx rámce	35313327	15005567	4584061	2922478		
		EFS	592	580	600	600		
		ES	8	19	0	0		
		SES	8	19	0	0		
		AS	600	599	600	600		
		UAS	0	0	0	0		
		ESR	1,33E-02	3,17E-02	0	0		
		SESR	1,33E-02	3,17E-02	0	0		

Tab. 20 Výsledky měření v pásmu downstream v symetrickém režimu s rušením ETSI B a Cookův impulz 80 mV.

		Profil	Auto	40M/40M	5M/5M	4M/4M	-	-
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
Cookův puls 160 mV	VTU-C port 1	Vp [kbps]	49271	20409	5133	4110	Nespojí se	Nespojí se
		SNR [dB]	6	6	23	12		
		Tx rámce	35218596	14568808	3664467	2935075		
	VTU-R port2	Vp [kbps]	49271	20409	5133	4110		
		SNR [dB]	6	6	13	10		
		Rx rámce	35218516	14568733	3664467	2935075		
		EFS	588	577	600	600		
		ES	12	23	0	0		
		SES	12	23	0	0		
		AS	600	600	600	600		
		UAS	0	0	0	0		
		ESR	2,00E-02	3,83E-02	0	0		
		SESR	2,00E-02	3,83E-02	0	0		

Tab. 21 Výsledky měření v pásmu downstream v symetrickém režimu s rušením ETSI B a Cookův impulz 160 mV.

Příloha č. 6 Výsledky měření s rušením ETSI B v pásmu downstream.

		Profil	Auto	15M/15M	5M/5M	4M/4M	-	-
		Délka vedení [m]	400	800	1200	1600	2000	2400
Cookův puls 320 mV	VTU-C port 1	Vp [kbps]	49869	15340	5133	4110	Nespojí se	Nespojí se
		SNR [dB]	6	20	23	12		
		Tx rámce	35609533	10947851	3662494	2935974		
	VTU-R port2	Vp [kbps]	49869	15340	5133	4110		
		SNR [dB]	6	9	12	10		
		Rx rámce	35609480	10947851	3443450	2935974		
		EFS	595	600	564	600		
		ES	8	0	0	0		
		SES	8	0	0	0		
		AS	600	600	654	600		
		UAS	0	0	36	0		
		ESR	1,33E-03	0	0	0		
		SESR	1,33E-03	0	0	0		

Tab. 22 Výsledky měření v pásmu downstream v symetrickém režimu s rušením ETSI B a Cookův impulz 320 mV.

V pásmu downstream je rušení ETSI B daleko výraznější a modemy se nedokáží spojit již na 2000 metrů. Dochází k častým chybám při přenosu a tudíž k špatnému doručení paketů.

Veškeré záznamy z měření a dokumentace týkající se této bakalářské práce jsou uloženy na přiloženém CD. Soubory jsou uloženy podle následující struktury na CD:

- Složka ***bakalarska_prace*** – obsahuje kopii bakalářské práce v souboru aplikace MS Word a PDF pod názvem ***tomsu_jaroslav***.
- Složka ***mereni_westermo*** – obsahuje zachycené pakety při měření na prvcích Westermo z programu Wireshark, viz kapitola 5.
- Složka ***obrazky*** – zde se nachází obrázky využitě v této práci.
- Složka ***mereni_moxa*** – uvnitř je soubor aplikace MS Excel s názvem ***moxa.xls***, který obsahuje veškeré zaznamenané hodnoty z měření v kapitole 6. Dále v tomto souboru jsou přiřazeny k jednotlivým konfiguracím měření názvy souborů, které se nacházejí v podsložkách složky ***moxa_mereni***. Například obrázky z měření výkonových hustot PSD jsou ve složce ***Obrazky-psd***, protokoly s měření vygenerované analyzátořem ve složce ***Protokoly*** a tak dále.