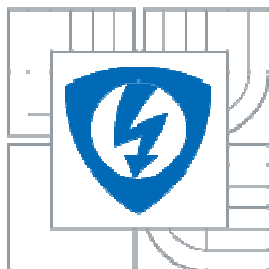


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

SROVNÁNÍ ŠIROKOPÁSMOVÝCH SYSTÉMŮ HOMEPLUG A DS2 TECHNOLOGIE PLC

COMPARISON OF HOMEPLUG BROADBAND SYSTEMS AND DS2 TECHNOLOGY PLC

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

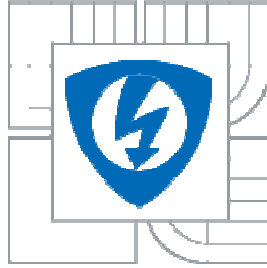
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. LUKÁŠ HORÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ MIŠUREC, CSc.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Lukáš Horáček
Ročník: 2

ID: 78063
Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Srovnání širokopásmových systémů HomePlug a DS2 technologie PLC

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte širokopásmové systémy pro datovou komunikaci po silnoproudých vedeních. Zaměřte se především na systémy HomePlug a DS2. Realizujte laboratorní síť s oběma systémy a proveďte vybraná měření. Stanovte kritéria pro hodnocení a oba systémy srovnajte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HRASNICA, HAIDINE, LEHNERT. Broadband Powerline Communications Network design, ISBN:0-470-85741-2, 2004.

[2] DOSTERT, Klaus. Powerline Communications. Upper Saddle River, NJ 07458 : Prentice Hall PTR, 2001. 338 s. ISBN 0-13-029342-3.

Termín zadání: 29.1.2010

Termín odevzdání: 26.5.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Tato práce se zabývá srovnáváním širokopásmových systémů HomePlug a DS2 technologie PLC (Power Line Communications). PLC je technologie umožňující přenášet data po silových rozvodech elektrické sítě.

Teoretická část je tvořena popisem širokopásmových systému pro datovou komunikaci po silnoprůdých vedeních, výběr kritérií, popis systému DS2 a HomePlug (varianty čipů, verze, architekturu sítě, jednotlivé prvky). Dále jsou zde popsány modulační techniky, rušení, standardy, norma ČSN EN 50065 a přístupové metody.

Praktická část je tvořena laboratorním měřením s oběma systémy. Pro testování byly použity DS2 modemy od firmy Defidev a HomePlug modemy od společnosti AirLive. Ty jsou pak srovnány podle vybraných kritérií.

Klíčová slova: PLC, HomePlug, DS2, download, odezva, propustnost

Abstract

This thesis comparing broadband systems HomePlug and DS2 PLC technology (Power Line Communications). PLC is a technology for transmitting data over electrical power distribution network.

The theoretical part consists of describing a system for broadband data communication over high-tension lines, the selection criteria, a description of DS2 and HomePlug (variants of chips, version, network architecture, elements). There are also described modulation techniques, interference, standards, standard ISO 50065 and access methods.

The practical part consists of laboratory measurements with both systems. For the testing were used DS2 modems from the company Defidev and HomePlug modems from AirLive. These are then compared according to selected criteria.

Keywords: PLC, HomePlug, DS2, download, response, throughput

Bibliografická citace mé práce:

HORÁČEK, L. *Srovnání širokopásmových systémů HomePlug a DS2 technologie PLC*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 53 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Srovnání širokopásmových systémů HomePlug a DS2 technologie PLC“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Mišurci, CSc. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

V Brně dne

.....
podpis autora

Obsah

1. Úvod.....	9
1.1. Rozbor zadání.....	9
1.2. Struktura energetické sítě.....	10
2. Power Line Communications.....	11
2.1. Modulace v PLC.....	14
2.1.1 Modulace DSSS.....	14
2.1.2 Modulace GMSK.....	14
2.1.3 Modulace OFDM.....	14
2.3. Rušení.....	15
2.3.1 Elektromagnetická kompatibilita.....	15
2.4. Historie PLC.....	16
2.5. Úzkopásmové PLC.....	16
2.6. Širokopásmové PLC.....	16
2.7. DS2.....	17
2.7.1 Varianty čipů.....	18
2.7.2 Struktura sítě.....	18
2.8 HomePlug.....	20
2.9. Parametry elektrického vedení.....	21
2.9.1. Primární parametry vedení.....	21
2.9.2. Sekundární parametry vedení.....	23
2.10. Parametry datových přenosů.....	24
2.11. Přístupové metody.....	25
3. Návrh metodiky měření.....	27
3.1. Test propustnosti.....	28
3.2. Test zpoždění.....	28
3.3. Test ztrátovosti.....	28
3.4. Test back-to-back rámců.....	29
3.5. Zotavení se po přetížení.....	29
3.6. Zotavení se po restartu.....	30
4. Měření návrh, struktura navržené měřicí sítě PLC.....	31
4.1. Použité přístroje.....	32
4.3. Test propustnosti.....	35
4.4. Test zpoždění.....	37
4.5. Test ztrátovosti.....	40
4.6. Odstup signal-šum SNR.....	47
5. Srovnání.....	50
6. Závěr.....	55
7. Literatura.....	56
8. Seznam použitých veličin, symbolů a zkratk.....	57

1. Úvod

PLC (Power Line Communications) je technologie umožňující přenášet data po silových rozvodech elektrické sítě. Datový signál je modulován na kmitočty 100kHz až 30 MHz a tento signál je injektován do elektrické přenosové sítě. Tato technologie je známá už velmi dlouho. Jedná se o jednu z alternativ k ostatním přenosovým technologiím. Nejvíce jsou používány pro datové spojení pro dálková měření, ale i pro domácnosti a, kanceláře. Mezi největší výhody patří již instalované elektrické vedení, díky němuž se nemusí budovat nové kabeláže a tím je to i výhodné po ekonomické stránce. Mezi další výhodou patří snadná instalace. Bohužel, elektrická síť není primárně určena k přenosu dat, má tato technologie i nevýhody jako je elektromagnetická kompatibilita, rušení atd. Mezi používané a rozšířené technologie patří systémy HomePlug a DS2.

Cílem této práce je srovnat širokopásmové systémy HomePlug a DS2 technologie PLC podle mnou stanovených kritérií.

1.1. Rozbor zadání

Diplomová práce bude zaměřena na srovnání širokopásmových systémů HomePlug a DS2 technologie PLC. Nejčastěji se používají v domácnostech pro realizaci LAN sítě po elektrickém vedení.

V teoretické části se zaměřím na popis širokopásmových systémů HomePlug a DS2 (varianty čipů, verze, architekturu sítě, jednotlivé prvky) pro datovou komunikaci po silnoproudých vedeních. Dále bude navržena metodika měření těchto systémů. Budou definována a vybrána kritéria podle, kterých budu tyto systémy srovnávány.

Praktická část bude práce zaměřena na provádění laboratorních experimentů v rámci reálného provozu PLC systému. Při testování budu vycházet z platných standardů. Metodiku přizpůsobím svým potřebám. Testy jsem vybral dle RFC 2544. Budu provádět tyto testy:

- Test propustnosti,
- Test zpoždění,
- Test ztrátovosti.

V další části provedu srovnání těchto naměřených parametrů pro systémy HomePlug a DS2.

1.2. Struktura energetické sítě

Distribuční elektrickou síť, která lze využít i pro datovou síť lze rozdělit na tři základní typy dle úrovně napětí:

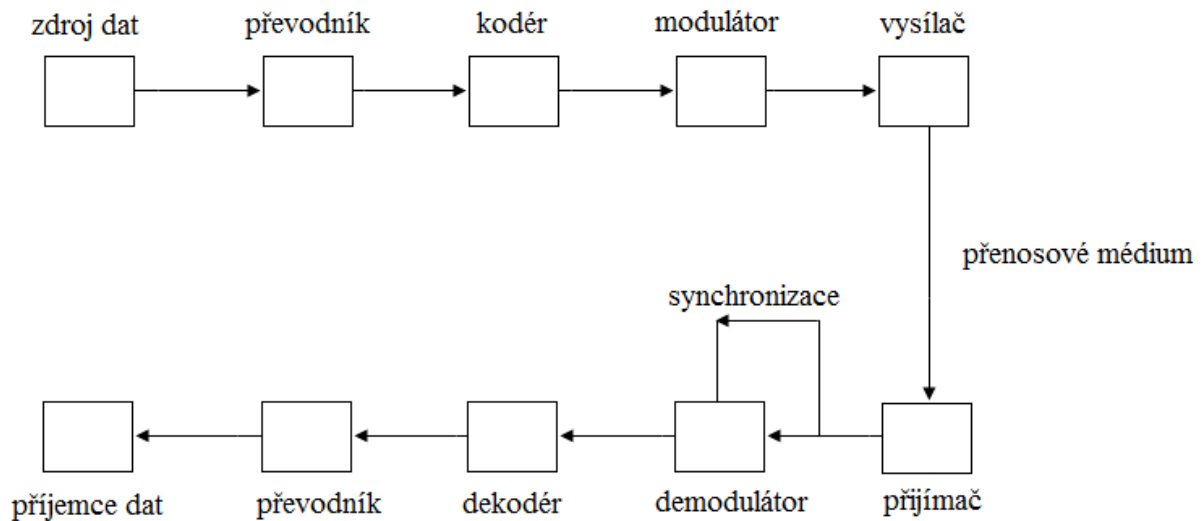
- Velmi vysoké napětí (VVN) – jedná se o označení pro elektrické napětí vyšší než 100 kV. Mezi nejpoužívanější VVN patří vedení o hodnotách napětí 110 kV, 220 kV a 400 kV. Používá se pro přenos elektrické energie na velké vzdálenosti (od výrobce ke spotřebiteli). Umožňuje snížit ztráty ve vedení pomocí posílení elektrické složky elektromagnetického pole na úkor magnetické složky. Pro mezinárodní spojení se používá označení i ZVN.
- Vysoké napětí (VN) – jedná se o označení pro elektrické napětí v rozmezí 1 kV až 52 kV. Používá se k pokrytí o mnoho menších oblastí a vzdáleností oproti VVN.
- Nízké napětí (NN) – jedná se o označení pro elektrické napětí do 1 kV. V Evropských zemích se jedná o napětí v hodnotě 230/400 V s kmitočtem 50 Hz, ve Spojených státech a Japonsku je to napětí v hodnotě 110 V s kmitočtem 60 Hz. Používá se k dodávce energie koncovým uživatelům.

2. Power Line Communications

PLC (Power Line Communications) umožňuje realizovat datový přenos po elektrickém vedení. Hlavní myšlenkou PLC je snížení nákladů na realizaci nových telekomunikačních sítí. Tato technologie je známá už velmi dlouho. Jedná se o jednu z alternativ k ostatním komunikačním technologiím.

Struktura PLC

Komunikaci PLC můžeme vidět na zjednodušeném blokovém schématu viz. Obr.č.2.1. Komunikace bude probíhat mezi zdrojem a příjemcem dat. Jestli je signál analogový, tak je nejprve převeden v převodníku na signál digitální. V kodéru se provádí kódování, přidávají se zde kontrolní bity, které pomáhají zmenšovat chybovost. Následně v modulátoru se vytváří signál, který je vhodný pro přenos přes přenosové médium. U PLC je jako přenosové médium využito elektrické vedení. Na straně příjemce je signál přijat, zasynchronizován a pomocí demodulátoru, dekodéru a převodníku převeden na původní vysílaný signál.



Obr.č.2.1.: Blokové schéma komunikace u PLC

Komunikace a přenos informací mezi zařízeními může být realizován přes rozmanité sítě, které využívají různé přenosové technologie. Pro standardizaci byl zaveden hierarchický model, který přesně definuje úkoly pro každou komunikační vrstvu a rozhraní mezi nimi. Jedná se o ISO/OSI model, který se skládá ze sedmi vrstev viz. Obr.č.2.2.



Obr.č.2.2: Referenční model ISO/OSI

1. Fyzická vrstva

Je nejnižší vrstvou modelu. Zabývá se vlastním přenosem informace. Specifikuje mechanické, elektrické, funkční, procedurální parametry. Mezi hlavní funkce patří modulace, navázání a udržení spoje.

2. Linková (spojová) vrstva

Zajišťuje komunikaci mezi dvěma sousedními uzly sítě. Řeší typ spoje, řízení komunikace, zabezpečení datových jednotek. Zabývá se přenosem rámců a bývá rozdělena do dvou podvrstev:

- Řízení logického spoje LLC,
- Řízení přístupu ke sdílenému médiu MAC.

3. Síťová vrstva

Zajišťuje směrování a adresování paketů v síti. Sjednocuje různé sítě do jedné.

4. Transportní vrstva

Je první vrstvou nad vrstvou sítě. Provádí segmentaci zpráv, multiplex datových toků a zabezpečení bezchybnosti a úplnost přenosu zprávy.

5. Relační vrstva

Vrstva zajišťuje korektní vedení dialogů mezi komunikujícími procesy. Synchronizuje zprávy pro možné pokračování v přenosu.

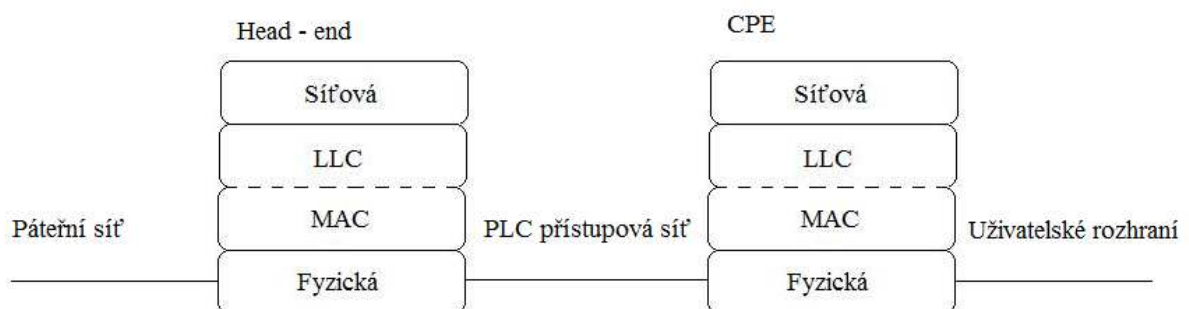
6. Prezentační vrstva

Mezi její služby patří kódování, komprimace, šifrování. Jejím cílem je upravit zprávu tak, aby měla podobu, která je známa oběma komunikujícím entitám.

7. Aplikační vrstva

Je nejvyšší vrstvou v modelu. Implementuje protokoly konkrétních aplikací (http, FTP, SMTP), řeší identifikaci uživatele, síťových zdrojů a synchronizaci aplikací.

PLC přístupová síť se skládá ze Head-end modemu a z jednoho či více CPE modemů. Uživatel je připojen přes ethernetové rozhraní k PLC modemu, který je připojen k elektrickému vedení. Následná komunikace mezi rozhraními je prováděna na třetí vrstvě. Na třetí vrstvě probíhá i výměna dat mezi PLC sítí a elektrickou sítí viz. Obr.č.2.3. PLC rozhraní obsahuje fyzickou a spojovou (LLC,MAC) vrstvu.



Obr.č.2.3: Specifické vrstvy u PLC

2.1. Modulace v PLC

PLC modemy převádějí nejčastěji Ethernet (10Mb/s, 100Mb/s) na vysokofrekvenční modulaci superponovanou na síťové napětí s frekvencí 50Hz a zpět.

Typy používaných modulací:

- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum),
- GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying),
- OFDM (Orthogonal Frequency Divison Multiplex).

2.1.1 Modulace DSSS

Signál pomocí této modulace je rozprostřen po celém dostupném pásmu, má nízkou spektrální hustotu. Každý jednotlivý bit určený k přenosu, je nahrazen určitou početnější sekvencí bitů. K jeho modulování je používána pseudonáhodná binární posloupnost. Bez znalosti mechanismu vytváření původní pseudonáhodné sekvence je obtížné jej zpětně získat. Tento způsob modulace má odolnost proti rušení a odposlechu, ale má velkou šířku pásma, problémy se synchronizací přijímače a vysílače.

2.1.2 Modulace GMSK

Jedná se o speciální typ úzkopásmové modulace založené na MSK. Frekvenční rozdíl mezi logickou nulou a logickou jedničkou je vždy roven polovině rychlosti přenosu dat. Signál je odolný proti úzkopásmovému a impulznímu rušení při rychlosti vyšší než 2 Mbit/s.

2.1.3 Modulace OFDM

OFDM modulace je nejčastěji používaná u technologie PLC. Spočívá v použití několika stovek až tisíců nosných kmitočtů. Nosné kmitočty jsou dále modulovány dle potřeby různými modulacemi QPSK, QAM. Jednotlivé nosné jsou si vzájemně kolmé tzn., že maximum každé nosné by se mělo překrývat s minimy ostatních. Datový tok celého kanálu se tak dělí na stovky dílčích datových toků jednotlivých nosných. Poněvadž jsou ve výsledku toky na jednotlivých nosných malé, je možné vkládat ochranní interval - čas, kdy se nevysílá žádná nová informace. Na přijímací straně je tak možné nerušeně přijmout (právě) vysílaný

symbol, i když přichází k přijímači více cestami s různým zpožděním. Stejný symbol přijatý vícekrát s různým zpožděním tak může odpovídat i více vysílačům. Přijímané výkonové úrovně více vysílačů resp. odrazů se tak na přijímací straně do jisté míry sčítají[3]. OFDM je určena pro širokopásmovou digitální komunikaci. Používá se u digitální televize, audio vysílání, bezdrátové sítě a širokopásmový přístup k internetu.

2.3. Rušení

U PLC se problematika rušení dělí na dvě části. Zařízení PLC může buď být objektem rušení produkovaného jinými zařízeními, nebo naopak může samo být zdrojem rušení pro ostatní zařízení ve své blízkosti.

Typy rušení, které mohou ovlivnit přenosový kanál zařízení PLC:

- Šum na pozadí – ovlivňuje tvar užitečného signálu, vzniká skládáním velkého počtu zdrojů rušení o nízké intenzitě a jeho parametry jsou proměnné v čase. Je přítomen vždy.
- Úzkopásmové rušení – jedná se o průběhy, kde se vyskytují úzké špičky s velkou spektrální hustotou. Způsobují ho spínací procesy, zářivky, televize a monitory, rozhlasové stanice.
- Periodický impulzní rušení – jedná se o impulsní hluk
 - a) asynchronní – vyskytuje se mezi frekvencemi 50 kHz až 2MHz. Způsobují ho spínací prvky v distribuční síti
 - b) synchronní – vyskytuje se mezi 50 Hz až 100 Hz. Způsobují ho napěťové konvertory, stmívače.
- Neperiodický impulzivní rušení – jedná se o shluk šumů. Způsobují ho všechny druhy spínacích prvků.

2.3.1 Elektromagnetická kompatibilita

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) udává, jestli je zařízení schopno správně pracovat spolu s jinými zařízeními, která jsou také zdrojem elektromagnetických signálů a nesmí svou činností ovlivňovat okolí, tzn. nevyzařovat signály, které by mohly rušit jiné zařízení. Zařízení by tedy mělo být odolné vůči rušení a zároveň toto rušení nevyvolávat. V dnešní době počet elektrických spotřebičů narůstá a tím pádem také nežádoucí rušení.

2.4. Historie PLC

První zmínky technologii PLC byly v 90. letech 20. století. První testovací projekt Digital Powerline byl v Manchesteru (1998). O rok později přišla společnost Siemens a Ascom s novými technologiemi. První projekt v rámci České republiky byl až v roce 2001, v tom roce společnost Intellon představila čipset s přenosovou rychlostí až 14 Mbit/s. V následujícím roce 2002 probíhal zkušební provoz s přenosovou rychlostí 27 Mbit/s. Přenosovou rychlost 200 Mbit/s umožnil až nový čip společnosti Corines v roce 2005.

2.5. Úzkopásmové PLC

Úzkopásmové PLC sítě jsou provozovány v kmitočtovém rozsahu určeném CENELEC normou (Tab. 2.4.1). Toto frekvenční pásmo je rozděleno na tři skupiny: A, která bude využívat speciální napájení, a B, C, které jsou poskytovány pro soukromé použití. Dnes úzkopásmové PLC systémy dosahují rychlostí až několik tisíc bitů za sekundu. Maximální vzdálenost mezi dvěma modemy PLC může být až 1 km. K překonání delších vzdáleností, je třeba použít opakovače.

Využití úzkopásmových PLC:

- telemetrické systémy,
- kontrola zařízení, která jsou připojena k vnitřní elektroinstalaci (osvětlení, topení, vzduchová klimatizace, výtahy),
- centralizovaná kontrola stavebních systémů.

2.6. Širokopásmové PLC

Širokopásmové PLC systémy umožňují vyšší přenosové rychlosti než úzkopásmové systémy, přenosová rychlost může být i více než 2 Mbit/s. Nabízejí realizaci složitějších telekomunikačních služeb (multi-voice připojení, vysokorychlostní přenos dat, přenos video signálu). Nicméně, elektrické napájecí sítě nejsou určeny pro přenos informací a jsou zde některé limitující faktory. Proto vzdálenost a rychlost přenosu dat jsou omezené. Jsou zde problémy s elektromagnetickou kompatibilitou (EMC) a rušením viz níže.

Používají frekvenční pásmo 1,6 MHz – 30MHz. Využití širokopásmových PLC:

- Přenos internetu, videa, hlasu.

2.7. DS2

Nová generace zařízení PLC je založena na dvou typech čipů:

- digitální modem DSS90xx,
- analogové rozhraní DSS7700.

Tyto dva obvody s využitím „dense“ OFDM, pokročilých technik zpracování signálu dosahují vysoké přenosové rychlosti až 200 Mbps. To jsou standardy pro tzv. 3. generaci PLC. Oba typy čipů - DSS90xx a DSS7700 umožňují realizovat řešení domácích sítí, propojení budov, přístupové sítě a distribuci širokopásmového připojení po rozvodech nízkého a vysokého napětí. Výkonný modul zpracování paketů zabudovaný v DSS900x poskytuje vysokorychlostní přepínání paketů, rozšířené virtuální LAN, optimalizovaný protokol STP (Spanning Tree Protocol), multiprotokolové přepínání značek (MPLS). DS2 nabízí tři různé typy řízení přístupu k médiu (Media Access Control):

- peer-to-peer síť,
- vysokokapacitní master-slave přístupové síť,
- vn síť.

Integrace QoS (Quality of Services) umožňuje víceúrovňový prioritní systém a garanci požadované šířky pásma a latence. Umožňuje nabízet a garantovat služby IP telefonie (VoIP).

DS2 obsahuje pokročilé víceúrovňové bezpečnostní techniky:

- specifická modulaci každého uživatele,
- šifrování 3DES,
- autentifikace a autorizace přístupu každého prvku do sítě.

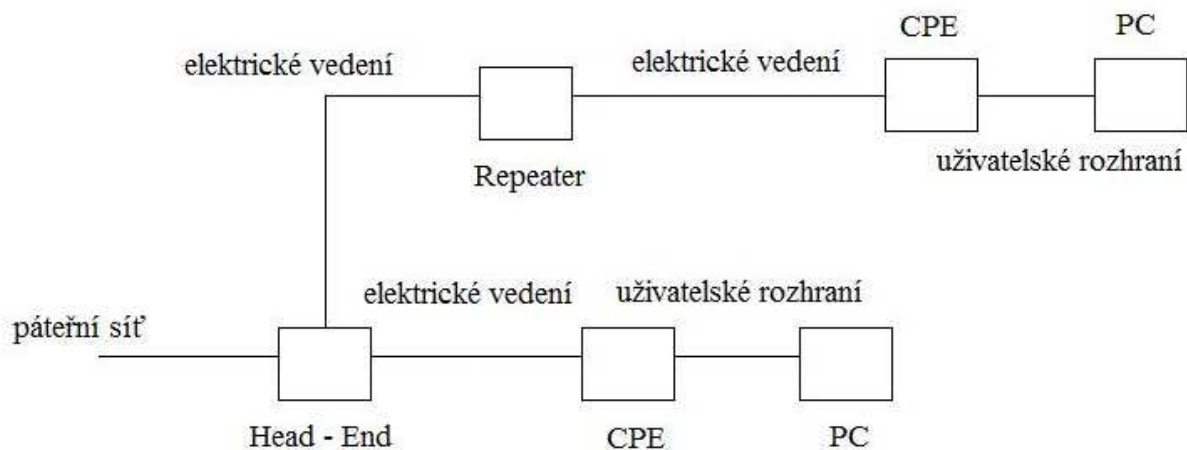
Nové čipy DS2 se vyznačují výkonnými síťovými funkcemi, zvýšenou citlivostí vstupních obvodů, takže zařízení jsou schopna dosahovat vyšších rychlostí na delší vzdálenosti a to při snížení celkového emitovaného výkonu. Tím jsou splněny základní požadavky EMC a CISPR na úroveň rušení na elektrickém vedení a na radiové interference. Čip DSS90xx/DS7700 umožňuje dálkově programovat tzv. výkonovou masku. Je možné nastavit maximální výkon každého nosného kmitočtu (dostupný počet kmitočtů je 1536 v pásmu 3-34 MHz), díky čemu je možno v případě nutnosti utlumit až k nule vysílání v požadovaném kmitočtovém pásmu. Dále je tu možnost vzdáleného odpojení (vypnutí) zařízení ze sítě.

2.7.1 Varianty čipů

- **DSS7700** - analogový integrovaný obvod. Jeho součástí je sada zesilovačů s řízeným ziskem, nízkým šumem a malým zkreslením. Je navržen pro OFDM s vysokou hustotou nosných frekvencí a je sestaven do 48-pin QFN balení. Lze snižovat výkon na každé z nosných frekvencí a představuje „analog front end“.
- **DSS9001** – obvod, navržený především jako repeater či HE. Umožňuje zpracovat až 32 spojených CPE a obsahuje tabulku pro 64 MAC adres. Novou funkcí je možnost VoIP.
- **DSS9002** - je čip, navržený jako HE, repeater. Lze jej použít jak na rozvodech nízkého napětí, tak i na rozvodech vysokého napětí. A oproti DSS9001 se mu zvětšila tabulka pro MAC adresy a to až na 1024 adres.
- **DSS9003** - je čip z modelové řady DSS900x. Obsahuje dva Gigabitové Ethernet porty s optickým rozhraním. Jeho MAC tabulka umožňuje zpracovat přes 220 tisíc MAC adres. Je navržen jako HE pro WAN síť. Používá se na rozvodech vysokého napětí.
- **DSS9010** – obvod, který se používá jako CPE. Byl optimalizován pro práci s videem a vysokorychlostním přenosem dat. Funguje na principu plug-and-play.
- **DSS9011** - je určena pro domácí síť, VoIP, TV, video, pro domácí systémy s prostorovým zvukem. [17]

2.7.2 Struktura sítě

Koncepce budování PLC sítí spočívá v použití různých variant DSS900x, které jsou hierarchicky zapojovány od centrálního uzlu (tzv. Head-end), přes repeatery (opakovače) do koncových uživatelských modemů (CPE) viz. Obr.č.2.4.



Obr.č.2.4: Možná struktura PLC sítě

Typy modemů:

- Head-end(řídící stanice) - umožňuje propojit pátevní síť s PLC přístupovou sítí. Používá se pro komunikaci se sítěmi s různým rozhraním (xDSL, SDH,Wi-fi). Takto se může PLC řídicí stanice propojit s pátevní sítí s odlišnou komunikační technologií. Řídí operace z PLC přístupové sítě, ale může nastat i případ, kdy kontrolu nad operacemi sítě může převzít PLC modem a uskutečnit spojení s pátevní sítí.
- CPE (modem) – jedná se o koncové zařízení přístupové sítě. Umožňuje spojení standardního telekomunikačního zařízení (počítač, telefon) s elektrickým vedením. Na straně uživatele mohou být různá rozhraní pro odlišné komunikační zařízení (ethernet, USB). PLC modem obsahuje všechny funkce fyzické vrstvy (modulace, kódování), linkové vrstvy (MAC, LLC).
- Repeater – opakovače se používají v případech, kdy vzdálenosti mezi PLC uživateli či mezi uživatelem a řídicí stanicí jsou příliš velké. Opakovače dělí přístupovou síť PLC na několik kmitočtově oddělených částí, ale nemění obsah přenesené informace. Aplikací opakovačů se zvýší rozsah sítě, ale při použití příliš mnoho opakovačů, kvůli omezení kmitočtového spektra (do 30MHz), může dojít ke snížení kapacity sítě.

- NMS - jedná se o systém sloužící ke konfiguraci, správě a sledování PLC sítí.

2.8 HomePlug

Zařízení standardu Homeplug jsou typicky párová zařízení, ale jsou běžné i aplikace s 3třemi a více modemy v jedné síti. Existuje několik standardů, které definují i maximální přenosovou rychlost. Modem se chová z hlediska sítě jako síťový most. Mechanismus přístupu k přenosovému mediu je řešen pomocí CSMA/CA.

Verze:

- **HomePlug 1.0**
- **HomePlug AV**
- **HomePlug AV2**
- **HomePlug Access BPL**
- **Homeplug Command & Control**

HomePlug 1.0

Původní HomePlug 1.0 specifikace umožňuje rychlost až 14 Mbit/s Half-Duplex. Později byla zavedena verze HomePlug 1.0 Turbo, která dosahovala přenosové rychlosti 85 Mbit/s.

Zařízení standardu Homeplug 1.0 a 1.0 Turbo jsou spolu kompatibilní, mohou spolu bez problémů komunikovat.

Využívá modulaci OFDM a kmitočtové pásmo 4,49 MHz až 20,7 MHz. Pásmo je rozděleno na 128 kanálů. Jednotlivé nosné jsou pak modulovány pomocí modulace DBPSK či DQPSK. Metoda přístupu k mediu je CSMA/CA.

HomePlug AV

Nejnovější a nejrychlejší verze je HomePlug AV, s níž se lze dostat až k hodnotě 200Mb/s. Používá kmitočtové pásmo 2 až 30 MHz, které je rozděleno na 917 kanálů. Využívá modulaci OFDM. Oproti standartu Homeplug 1.0 mohou zde pro jednotlivé nosné použity

modulace BPSK, QPSK či QAM. Specifikace HomePlug AV byla vytvořena s cílem zajistit dostatečnou šířku pásma pro aplikace, jako jsou HDTV a VoIP. Metoda přístupu k médiu je TDMA a CSMA. Je zabezpečen pomocí 128 bitového šifrování (AES) a dynamického přidělování šifrovacího klíče.

Zařízení standardu HomePlug AV nejsou se verzí HomePlug 1.0 kompatibilní.

Homeplug AV2

Zatím je v rámci vývoje. HomePlug AV2 je plně kompatibilní s HomePlug AV a bude převeden do standardu IEEE P1901, jakmile bude kompletní. HomePlug AV2 nabízí gigabitovou rychlost na fyzické vrstvě a 600 Mb/s na vrstvě MAC.

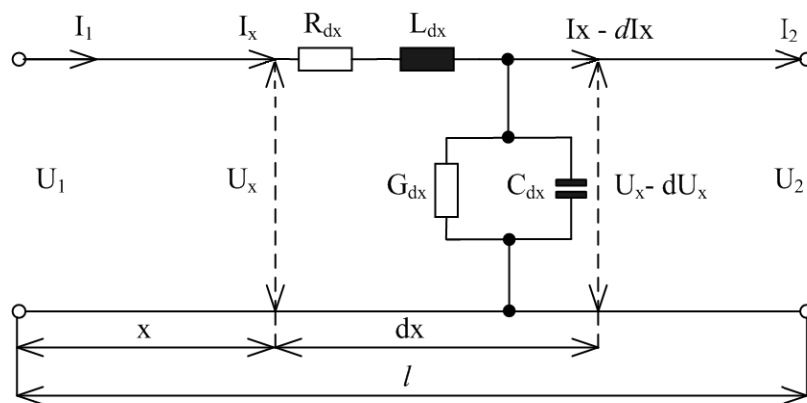
2.9. Parametry elektrického vedení

Elektrické vlastnosti vedení z hlediska přenosu charakterizující primární a sekundární parametry vedení. PLC používá jako přenosné médium elektrickou síť a proto tyto parametry ovlivňují výslednou kvalitu přenosu.

2.9.1. Primární parametry vedení

Charakteristickými parametry homogenního vedení jsou tzv. primární parametry:

- Odpor R [Ω/km],
- Indukčnost L [H/km],
- Kapacita C [F/km],
- Svod G [S/km].



Obr.č.2.5.: Schéma homogenního vedení

Odpor R :

Čím větší odpor vedení, tím jsou větší ztráty přenášeného signálu. Odpor je závislý na teplotě. S teplotou vzrůstá i odpor.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} [\Omega / km; \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}; m; mm^2] \quad (2.9.1)$$

ρ - měrný odpor materiálu

l - délka vodiče

S - průřez vodiče

Indukčnost L :

Zmenšuje útlum vedení a snižuje napětí přenášeného signálu.

$$L = 0,92 \cdot \log \frac{2a}{d} + 0,1k_2 \mu [H / km; mm; mm; H / m] \quad (2.9.2)$$

a - vzdálenost vodičů od sebe

d - průměr vodičů

k_2 - koeficient závislosti na kmitočtu

Kapacita C :

Kapacita je závislá na kmitočtu přenášeného signálu, dielektriku, průměru vodičů a jejich vzájemné vzdálenosti

$$C = \frac{12,1 \cdot \epsilon_r}{\log p \cdot 2 \cdot \frac{a}{d}} [F / km; F / km; mm; mm;] \quad (2.9.3)$$

ε_r - dielektrická konstanta materiálu

a - vzdálenost vodičů od sebe

d - průměr vodičů

p - uspořádání kabelů

Svod G :

Svod je závislý na kmitočtu.

$$G = \frac{1}{R_d} [S / km; \Omega] \quad (2.9.4)$$

R_d - odpor dielektrika

2.9.2. Sekundární parametry vedení

Pro sledování přenosových vlastností homogenního vedení se zavádějí sekundární parametry vedení:

- Impedance Z_C [Ω],
- Vlnová míra přenosu γ_C .

Impedance Z_C :

Jedná se o komplexní veličinu

$$Z_C = \frac{U}{I} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} [\Omega; V; A; V; A; \Omega / km, rad / s; H / km; S / km; rad / s; F / km] \quad (2.9.5)$$

Vlnová míra přenosu γ_C :

Jedná se o relativní změnu napětí a proudu v libovolném elementu vedení vztažená na jednotkovou délku.

$$\gamma_C = \frac{\Delta U}{U \cdot \Delta l} = \frac{\Delta I}{I \cdot \Delta l} = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (2.9.6)$$

[V; V; m; A; A; m; $\Omega / km, rad / s; H / km; S / km; rad / s; F / km; dB / km; rad / km]$

Reálná část α je měrný (vlnový) útlum a imaginární část β je měrný fázový posuv.

2.10. Parametry datových přenosů

Symbol rate [baud]

- je to poměr symbolů přenesených za 1 sekundu z modulátoru. Pokud je tedy trvání signálu rovno T , poté je množství symbolů, které jsou přeneseny rovno $1/T$ symbolů/s.

Bits per sekund

- počet bitů přenesených za 1 sekundu. Je často označována jako bitrate a úzce souvisí se symbolovou rychlostí. Pokud je tedy symbol tvořen N bity, pak je bitová rychlost rovna $N \cdot (1/T)$ bps.

Bit error probability

- pravděpodobnost nesprávného přijetí bitů. Jde o velmi důležitý parametr pro komunikaci, která je ovlivňována rušením.

Bandwidth [Hz]

- rozmezí frekvencí, které je použito pro komunikaci. Šířka pásma má omezenou velikost.

Bandwidth Efficiency [bit/s.Hz]

- poměr bitové rychlosti a šířky pásma pro daný komunikační kanál. Např. u telefonních systémů je bitová rychlost 56,6 kbps a šířka pásma je 4 kHz, pak se efektivita pásma rovná 14,15 bps/Hz.

Noise

- jedná se o šum v kanálu, jedná se o šum, který vzniká od všech různých rušení např. od PC, televize, mikrovlnné trouby, ledničky a dalších zařízení. Rušení těchto zařízení pak má velký vliv na kvalitu komunikace v daném kanálu.

Attenuation [dB]

- útlum signálu, tj že velikost výkonu signálu je během průchodu kanálem od vysílače k přijímači snížena o určitou hodnotu. Pokud je tedy velikost útlumu dostatečně velká, může být signál chybně přijat.

Signal to noise ratio (SNR)

- poměr signál/šum. Čím větší bude tento poměr, tím bude šum méně ovlivňovat a tím pádem mít menší nežádoucí efekt na přenášený signál. SNR se také zvyšuje pomocí filtrů, pro potlačení šumu v pásmech, ve kterých nedochází k přenosu signálu. [11]

2.11. Přístupové metody

TDMA

U mnohonásobného přístupu TDMA je každému účastníkovi přidělen v určitém kanálu pouze krátký časový úsek (time slot), který je součástí tzv. TDMA rámce, jež se cyklicky opakuje. Přenos tedy neprobíhá v čase spojitě, ale ve stejně dlouhých, pravidelně se opakujících časových úsecích. Na vysílací straně musí být signál časově komprimován a na přijímací straně musí být zpětnou expanzí upraven do původního stavu. Přístup TDMA vyžaduje složitější časovou synchronizaci. Různí účastníci využívají tedy stejný rádiový kanál systému, avšak každý v jiném časovém úseku. [14]

FDMA

Mnohonásobný přístup FDMA je nejstarší metoda používaná již v analogových systémech. Každý účastník systému má přidělené určité kmitočtové pásmo (rádiový kanál), které ve stejnou dobu nemůže používat jiný účastník. Jednotlivá pásma jsou od sebe oddělena bezpečnostními intervaly a nemusí být nutně stejně široká. Metoda je jednoduchá neboť nevyžaduje žádnou synchronizaci. Nevýhodou je malé využití přenosové kapacity kanálu. Kanál přidělený určitému účastníkovi, který zrovna není aktivní, nemohou využívat jiní účastníci. Různí účastníci tedy mohou využívat systém současně ve stejnou dobu, každému je však přiřazen jiný rádiový kanál. [14]

CDMA

U mnohonásobného přístupu CDMA jsou jednotliví účastníci rozlišeni individuálním pseudonáhodným kódem, který se ve vysílači používá k rozprostření vysílaného signálu do širokopásmové podoby. Používané kmitočtové pásmo mohou sdílet nejen ostatní účastníci systému, ale i jiné systémy pracující na odlišných principech. Na vstup přijímače se proto dostane kromě požadovaného signálu i řada signálů jiných. S pomocí stejného pseudonáhodného kódu, jaký byl použit ve vysílači, se však ze směsi signálů oddělí signál požadovaný. Přístup CDMA vyžaduje složitou synchronizaci a počet účastníků v kanálu je limitován úrovní interferenčních produktů v místě příjmu. Různí účastníci využívají tedy stejný rádiový kanál systému, komunikují současně, avšak jsou rozlišeni individuálními kódy. [14]

CSMA/CA

Metoda CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance), tj. metoda s odposlechem nosné a s vyhýbáním se kolize.

Princip CSMA/CA:

- 1) V případě potřeby vyslání rámce, stanice odposlechem zjistí, zda je kanál volný. Pokud je kanál volný po dobu DIFS (Distributed InterFrame Space), tak stanice začne s vysíláním.
- 2) Pokud kanál volný není, tak čeká na konec aktuálního přenosu. Poté čeká dobu DIFS a přitom si náhodně zvolí dobu čekání W . Pokud po tuto čekací dobu nikdo kanál neobsadí, tak začne s vysíláním. V opačném případě činnost podle bodu 2) opakuje. Případná kolize je detekována nepřímo tím, že stanice neobdrží potvrzení o přijetí rámce od adresáta. Každá stanice si dobu čekání W volí náhodně podle rovnoměrného rozdělení => střední doba čekání je u všech stanic stejná. [15]

3. Návrh metodiky měření

Pro testování PLC zařízeních neexistují žádné konkrétní normy, dle kterých by se prováděly testy. Jako výchozí podklad pro návrh metodiky měření je vhodné využít normy RFC 1242 a 2544. Tyto normy jsou určeny pro měření přenosových parametrů. Metodika byla navržena pro měření v reálných podmínkách v obytném domě při běžném provozu domácnosti.

Norma RFC 1242

Norma byla vydaná skupinou Benchmarking Methodology Working Group (BMWG) v roce 1991. Obsahuje klíčové pojmy, jako jsou propustnost nebo zpoždění a dále i známé definice zařízení datových sítí jako směrovač (router) nebo most (bridge), atd. s ohledem na jednoznačnost popisu či výkladu.

Norma RFC 2544

Dokument Benchmarking Terminology for Network Interconnect Devices[16] byl vydaný v roce 1999, nahrazuje starší RFC 1942, který vyšel v roce 1991. Definiuje testy, podle kterých mohou dodavatelé měřit síťová zařízení. Při tvorbě dokumentu se vycházelo z požadavku, že takové zařízení může být zhotoveno.

Obsahuje slova, která se používají pro definování významu každého konkrétního požadavku. Jsou to:

- Musí – tato položka je vysloveně požadavkem specifikace
- Měl by – tato položka může být za konkrétních okolností ignorována
- Může – tato položka je volitelná

Dále obsahuje popis příprav testů, stanovuje formát a velikosti testovacích rámců. U Ethernetu to má být 64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1518. Stanovuje, že testy probíhají pro všechny zařízení stejně, nezáleží, jestli jde o testování jednoho zařízení či při testování více propojených zařízení.

3.1. Test propustnosti

Cílem testu propustnosti (Throughput) je stanovit propustnost testovací jednotky tak, jak je definováno v RFC 1242.

Propustnost je maximální rychlost zasílání rámců, při které je počet vyslaných a přijatých rámců stejný. RFC 2544 doporučuje provést test propustnosti takto: Do testovaného zařízení vyšleme specifikovaný počet rámců určitou rychlostí a počítáme rámce přijaté na druhé straně. Pokud je počet vyslaných rámců stejný, jako počet rámců přijatých od testovacího zařízení, zvýšíme rychlost vysílání a test opakujeme. Pokud je počet přijatých rámců nižší, snížíme rychlost a test zase opakujeme.

Výsledkem je graf, kde na ose x je udána velikost rámců a na ose y rychlost rámců.

3.2. Test zpoždění

Cílem testu zpoždění (Latency) je stanovit zpoždění testovací jednotky tak, jak je definováno v RFC 1242.

Zpoždění je čas, za který je odeslaná zpráva přijata v cílovém uzlu.

Rozlišují se tři typy zařízení:

- Store and forward – rámeček je nejprve celý načten a poté teprve odeslán
- Forwarding – rámeček je odeslán okamžitě
- Cutthrough – nejprve je načtena jeho hlavička a poté je rámce postupně odeslán.

Nejprve provedeme test propustnosti pro dané velikosti rámce. Poté zašleme tok rámců o konkrétní velikosti a rychlostí stanovenou v testu propustnosti. Tok dat by měl trvat nejméně 120 sekund. Po 60 sekundách do toku přidáme „identifikační rámeček“ a zaznamenáme čas, kdy byl zcela odeslán (doba A). Přijímací část pak musí rozeznat tento „identifikační rámeček“ a zaznamenat čas (doba B), kdy byl tento rámeček přijat. Zpoždění je pak rozdíl těchto dvou časů doba B – doba A podle RFC 1242. Tento test musí být proveden minimálně dvacetkrát a výsledná hodnota zpoždění se rovná aritmetickému průměru ze všech těchto naměřených hodnot.

3.3. Test ztrátovosti

Cílem testu je stanovit ztrátovou rychlost rámců tak, jak je definováno v RFC 1242, pro testovanou jednotku přes celý rozsah rychlostí vstupních dat a velikostí rámců.

Ztrátovost je počet rámců, které měly být odeslány, ale z důvodu nedostatku systémových prostředků k tomu nedošlo. Tento údaj bývá většinou vyjádřen v procentech.

Test provedeme tak, že zašleme určitý počet rámců specifikovanou rychlostí do testovaného zařízení a počítáme rámce, které jsou tímto zařízením přenesené. Ztrátová rychlost se počítá pro každý bod. Nejprve se posílají rámce rychlostí, která odpovídá 100% rychlosti pro velikost rámců na vstupním médiu. Poté se opakuje postup pro rychlost 90%, 80% a tak dále dokud tam nebudou dva po sobě jdoucí pokusy, ve kterých nebudou ztraceny žádné rámce.

Výsledkem je graf, kde na ose x je vstupní rychlost a na y procentuelní ztráta.

3.4. Test back-to-back rámců

Cílem testu je charakterizovat testované jednotky zpracovávat back-to-back rámce tak, jak je definováno v RFC 1242.

Back-to-back rámce mají pevnou délku vyslanou za sebou. Interval mezi nimi má být minimální povolený na daném médiu.

Zašleme shluk back-to-back rámců s minimálními mezirámcovými mezerami, sledujeme počet odeslaných a přijatých rámců. Jestliže počet přijatých rámců je roven počtu vyslaných, zvýšíme počet rámců ve shluku a test opakujeme. Pokud je počet přijatých rámců menší než vyslaných, tak počet rámců ve shluku naopak snížíme. Výsledkem testu je počet rámců v nejdelším shluku, ve kterém nedošlo ke ztrátě ani jednoho rámce. Každý dílčí test musí trvat nejméně dvě sekundy.

3.5. Zotavení se po přetížení

Cílem tohoto testu je zjištění rychlosti, jakou je zařízení schopno se zotavit ze stavu přetížení.

Nejprve provedeme test propustnosti pro dané velikosti rámce. Poté zašleme tok rámců při rychlosti 110% dle propustnosti po dobu alespoň 60 sekund. Následně snížíme rychlost vysílání na 50% a poznamenáme si čas. Dále zaznamenáme čas poslední ztráty testovacího rámce. Doba zotavení je rozdíl výše uvedených časů.

3.6. Zotavení se po restartu

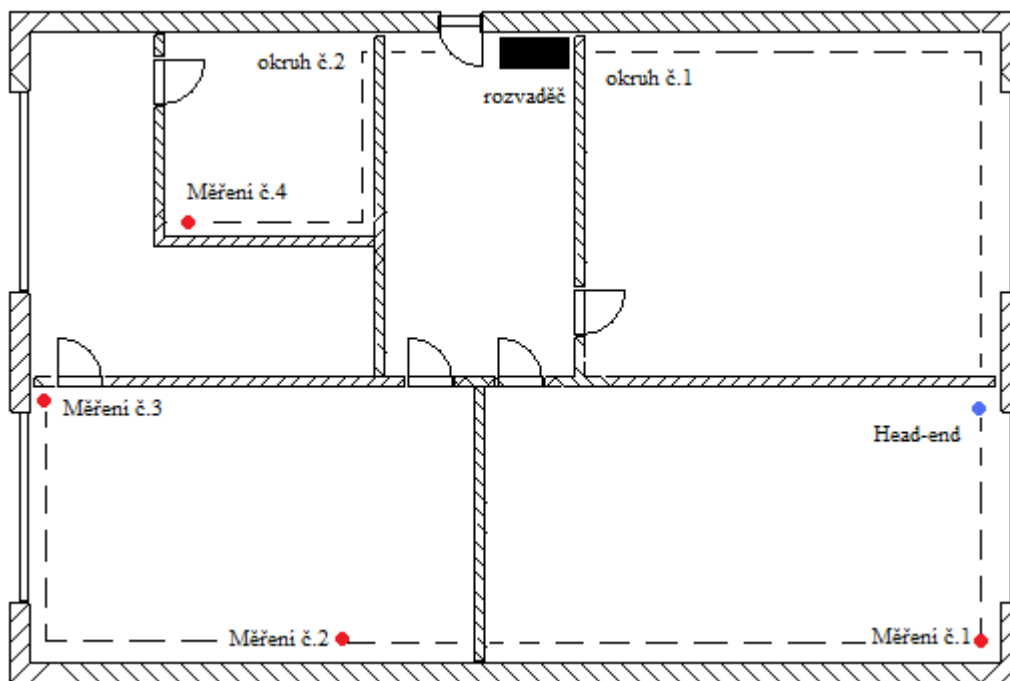
Cílem tohoto testu je zjištění rychlosti, jakou je testované zařízení schopno se zotavit po hardwarovém nebo softwarovém restartu.

Nejprve provedeme test propustnosti pro dané velikosti rámce. Zašleme testovací tok rámců o minimální velikosti rychlostí, dle testu propustnosti. Provedeme restart testovaného zařízení a sledujeme výstupní port. Zaznamenáme čas, kdy byl přijat poslední rámeček před restartem, a následně čas přijetí prvního rámce po restartu. Hledaný výsledek je rozdílem těchto dvou časů. Pokud chceme vyvolat restart pomocí přerušení napájení, měl by výpadek trvat deset sekund. Tento test lze spustit jen s adresami sítí připojených přímo k zařízení (není zde podmínka k čekání na aktualizaci směrovacích tabulek).

4. Měření návrh, struktura navržené měřicí sítě PLC

Systémy HomePlug a DS2 byly testovány v obytném objektu viz obr.č.6.1. Měření probíhalo za standardního provozu domácnosti, tudíž v síti byly rušivé prvky.

Jedná se o dva samostatné okruhy. Okruh č.1 je proveden hliníkovým rozvodem a jištěn je pomocí PL7-B10/1. Standardně jsou k němu připojeny domácí elektrospotřebiče (televize, počítač, rádio, hodiny atd.) Okruh č.2 je z mědi a jištěn je PL7-B16/1, je k němu připojena pouze pračka.



Obr.č.4.1 : Blokové schéma měřicí sítě

Měření č.1. – 6m

Měření č.2. – 11m

Měření č.3. – 16m

Měření č.4. – 15m

Byly provedeny následující testy :

- Test propustnosti,
- Test zpoždění,
- Test ztrátovosti.

4.1. Použité přístroje

Trend Unipro GbE

Trend Unipro GbE je provozní tester, který obsahuje množství funkcí pro testování nejnovějších verzí protokolů Ethernet a IP. Umožňuje snadné a rychlé RFC 2544 testování. Poskytuje všech 5 typických měření s detailním vyhodnocením získaných hodnot a odhalených nesrovnalostí na fyzické, MAC a IP vrstvě, přičemž je podporována VLAN i VLAN Q-in-Q enkapsulace. Je možno si nastavit různé hodnoty (hladiny) pro jednotlivé parametry testu. Už během testu indikuje, jestli je úspěšný či nikoliv. Po provedení testu je k dispozici tabulka naměřených hodnot. Také ho lze využít v režimu koncového bodu, pasivní monitoring a smyčka (loopback). Dochází zde k prostému otáčení provozu na fyzické vrstvě bez jeho modifikace, a dále pak na druhé a třetí vrstvě se záměnou zdrojových a cílových adres. [18]



Obr.č.4.2 : Trend Unipro GbE

DS2

Modemy Head-end a ACPE-200 do společnosti DefiDev.



Obr.č.4.3: ACPE-200

Technické parametry:

Protokoly: DHCP, TCP/IP, TFTP, SNMP, VLAN(802.1q), STP, HTTP, QoS

Porty: 1x 10/100 Base-T RJ-45

1x USB

1x RJ11 (VoIP)

VoIP: COdex G.711u/a, G.729a/b, G.723.1, H323 v4, RTP/RTCP

Rychlost: Nominálně až 200 Mbps

LED: Zdroj, Data/act, linky * 5

Ochrana: Kombinace tripl DES a DES

Real Time Variavle User specific Modualtion

VLAN

VPN

Teploty: 0°C až 10°C

Bezpečnost: CE

HomePlug

Modemy HP-2000E od společnosti Air-Live



Obr.č.4.4: Modem Air Live HP-2000E

Technické parametry:

Porty: 1x 10/100MBps RJ-45

1x elektrická zásuvka

Modulace: OFDM, DQPSK, DBPSK

Frekvenční pásmo: 4,3 MHz – 20,9 MHz

LED: napájení, Data/ act

Standardy: - IEEE802.3 10Base-T Ethernet (10 Mbps)

- IEEE802.3u Fast Ethernet (100 Mbps) HomePlug 1.0

Dodatkové protokoly : - Forward Error Correction (FEC)

- Automatické přizpůsobení kanálu

4.2. Rychlost na fyzické vrstvě

a)DS2

měřící stanoviště	přenosová rychlost na fyzické vrstvě [Mbit/s]
1	105
2	88
3	43
4	90

Tab.č.4.2.1: Přenosová rychlost na fyzické vrstvě

b) HomePlug

měřicí stanoviště	přenosová rychlost na fyzické vrstvě [Mbit/s]
1	69
2	37
3	21
4	41

Tab.č.4.2.2: Přenosová rychlost na fyzické vrstvě

4.3. Test propustnosti

Propustnost je maximální přenosová rychlost, při které je počet odeslaných a přijatých rámců stejný. Měrnou jednotkou je 1 Mb/s

Přenosová rychlost je počet bitů přenášených za sekundu

$$R = M \cdot \log_2 Q [\text{bit} / \text{s}]$$

Modulační rychlost M je počet signálových prvků přenášených za sekundu.

$$M = \frac{1}{T_{sp}} [\text{Bd}]$$

T_{sp} - doba trvání signálového prvku

Propustnost jsem měřil pomocí přístroje Trend Unipro GbE. Měřil jsem ho pro různé vzdálenosti mezi Head-end a CPE viz obr.č.4.1. Test byl proveden pětkrát během dne.

a) DS2

Propustnost pro FR size 128bytes [%]			
Měřicí st.	minimum	průměr	maximum
1	23,41	25,11	26,56
2	17,03	18,07	20,12
3	14,68	16,25	18,37
4	20,5	21,29	22,94

Tab.č.4.3.1: Propustnost pro FR size 128 bytes

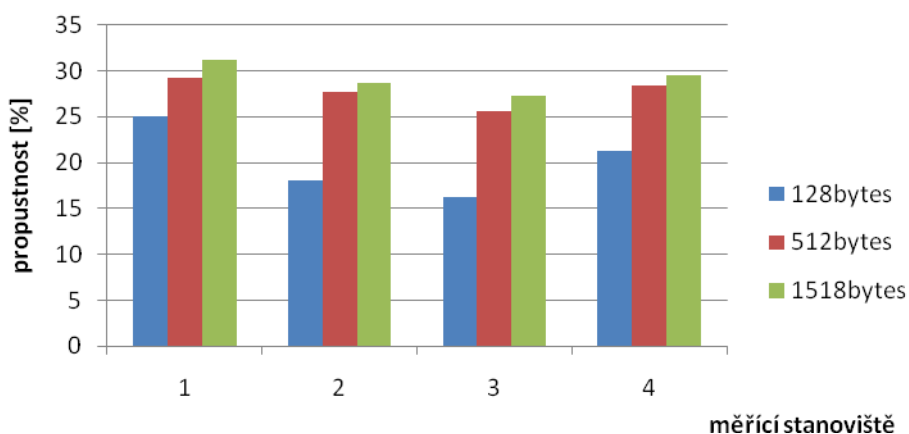
Propustnost pro FR size 512bytes [%]			
Měřicí st.	minimum	průměr	maximum
1	27,56	29,22	31,25
2	24,29	27,71	29,47
3	23,75	25,68	27,89
4	26,92	28,4	30,71

Tab.č.4.3.2: Propustnost pro FR size 512 bytes

Propustnost pro FR size 1518bytes [%]			
Měřicí st.	minimum	průměr	maximum
1	29,33	31,22	33,12
2	27,64	28,74	30,86
3	25,56	27,3	29,11
4	28,41	29,61	31,24

Tab.č.4.3.3: Propustnost pro FR size 1518 bytes

Propustnost u DS2



Graf.č.4.3.1: Propustnost u DS2

b)HomePlug

Propustnost pro FR size 128bytes [%]			
Měřicí st.	minimum	průměr	maximum
1	20,29	21,67	23,14
2	14,85	16,31	18,36
3	13,66	14,48	15,41
4	16,72	18,69	20,08

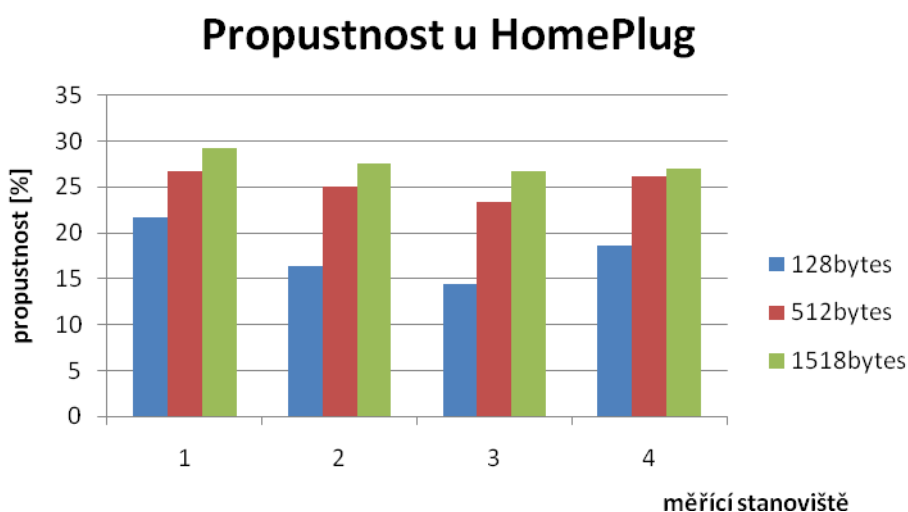
Tab.č.4.3.4: Propustnost pro FR size 128 bytes

Propustnost pro FR size 512bytes [%]			
Měřicí st.	minimum	průměr	maximum
1	24,56	26,73	29,85
2	23,98	25,09	26,78
3	21,37	23,41	25,01
4	24,81	26,23	27,45

Tab.č.4.3.5: Propustnost pro FR size 512 bytes

Propustnost pro FR size 1518bytes [%]			
Měřicí st.	minimum	průměr	maximum
1	27,63	29,22	31,33
2	26,21	27,56	29,46
3	25,84	26,79	28,61
4	26,11	27,06	30,72

Tab.č.4.3.6: Propustnost pro FR size 1518 bytes



Graf.č.4.3.2: Propustnost u HomePlug

4.4. Test zpoždění

Zpoždění je čas, za který je odeslaná zpráva přijata v cílovém uzlu. Měrnou jednou je 1 ms.

Zpoždění jsem měřil pomocí přístroje Trend Unipro GbE. Měřil jsem ho pro různé vzdálenosti mezi Head-end a CPE viz obr.č.4.1. Test byl proveden pětkrát během dne.

a)DS2

Latency pro FR size 128bytes [μs]			
Měřící st.	minimum	průměr	maximum
1	1949,3	2155,6	2549,6
2	1611,5	1844,8	2249,1
3	2063,9	2107,3	2478,2
4	2778,4	2861,2	3244,9

Tab.č.4.4.1: Latency pro FR size 128 bytes

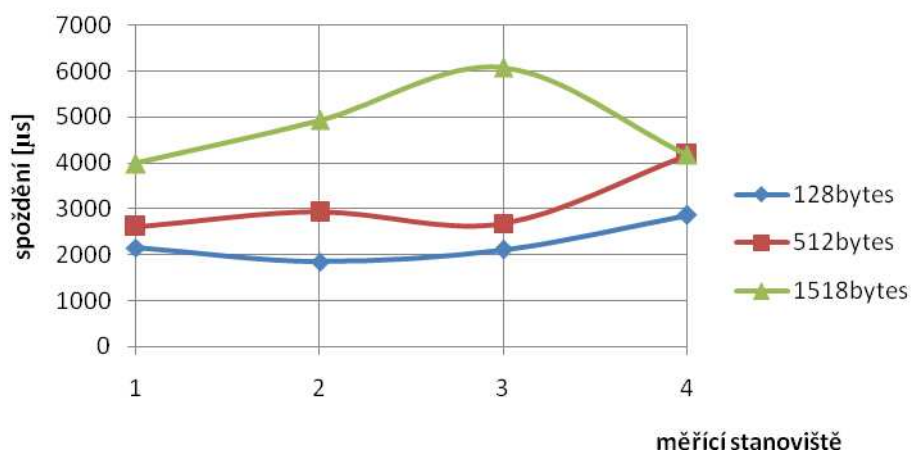
Latency pro FR size 512bytes [μs]			
Měřící st.	minimum	průměr	maximum
1	2596,2	2614,8	2837,8
2	2787,1	2924,9	3063,1
3	2547,3	2681,4	2866,4
4	3968,6	4178,7	4396,1

Tab.č.4.4.2: Latency pro FR size 512 bytes

Latency pro FR size 1518bytes [μs]			
Měřící st.	minimum	průměr	maximum
1	3684,1	3988,5	4237,9
2	4749,1	4931,1	5569,3
3	5536,7	6069,6	6614,2
4	3815,8	4178,7	4593,6

Tab.č.4.4.3: Latency pro FR size 1518 bytes

Zpoždění u DS2



Graf.č.4.4.1: Zpoždění u DS2

b)HomePlug

Latency pro FR size 128bytes [μs]			
Měřící st.	minimum	průměr	maximum
1	23,41	2096,8	26,56
2	17,03	2197,4	20,12
3	14,68	3770,5	18,37
4	20,5	3092,1	22,94

Tab.č.4.4.4: Latency pro FR size 128 bytes

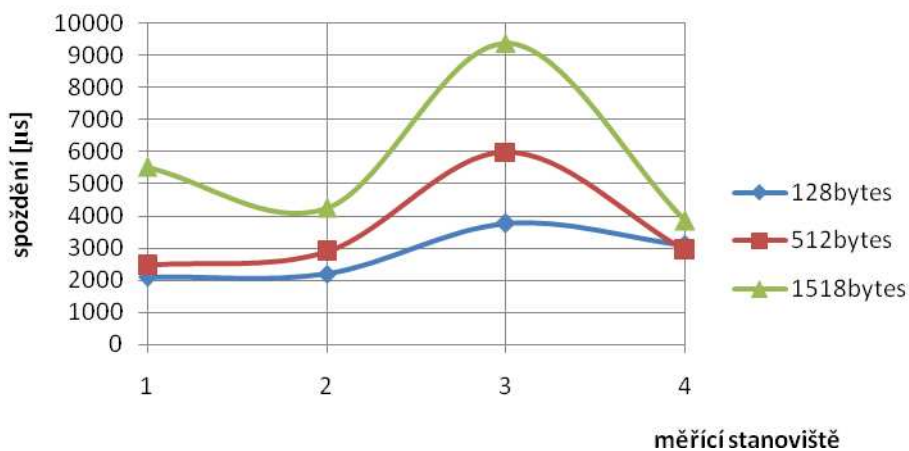
Latency pro FR size 512bytes [μs]			
Měřící st.	minimum	průměr	maximum
1	2158,9	2459,3	2536,6
2	2712,4	2890,8	3058,1
3	5652,3	5988,5	6163,2
4	2769,1	2926	3248,1

Tab.č.4.4.5: Latency pro FR size 512 bytes

Latency pro FR size 1518bytes [μs]			
Měřící st.	minimum	průměr	maximum
1	5154,5	5529,6	5934,4
2	4078,5	4244,5	4689,7
3	8925,8	9376,8	10588,1
4	3648,4	3839,9	4259,4

Tab.č.4.4.6: Latency pro FR size 1518 bytes

Zpoždění u HomePlug



Graf.č.4.4.2: Zpoždění u HomePlug

4.5. Test ztrátovosti

Ztrátovost jsem měřil pomocí přístroje Trend Unipro GbE. Měřil jsem ho pro různé vzdálenosti mezi Head-end a CPE viz obr.č.4.1.

a)DS2

Frame Loss Rate Test								
FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)
128	100	70,98	512	100	65,956	1518	100	64,95
	90	70,976		90	65,946		90	64,938
	80	69,98		80	62,956		80	63,918
	70	68,966		70	61,936		70	59,922
	60	68,962		60	60,902		60	59,91
	50	67,51		50	59,902		50	38,466
	40	63,174		40	33,772		40	33,224
	30	34,55		30	20,258		30	21,236
	20	11,536		20	13,104		20	12,464
	10	0		10	1,254		10	1,014

Tab.č.4.5.1: Ztrátovost pro měřící stanoviště č.1

Frame Loss Rate Test								
FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)
128	100	76,978	512	100	67,972	1518	100	66,952
	90	76,974		90	67,971		90	66,92
	80	74,978		80	66,964		80	65,932
	70	71,97		70	65,954		70	64,934
	60	70,964		60	63,93		60	63,926
	50	30,766		50	37,518		50	32,286
	40	18,272		40	22,57		40	23,12
	30	15,786		30	16,06		30	12,078
	20	9,832		20	6,306		20	8,078
	10	0		10	0		10	0,294

Tab.č.4.5.2: Ztrátovost pro měřící stanoviště č.2

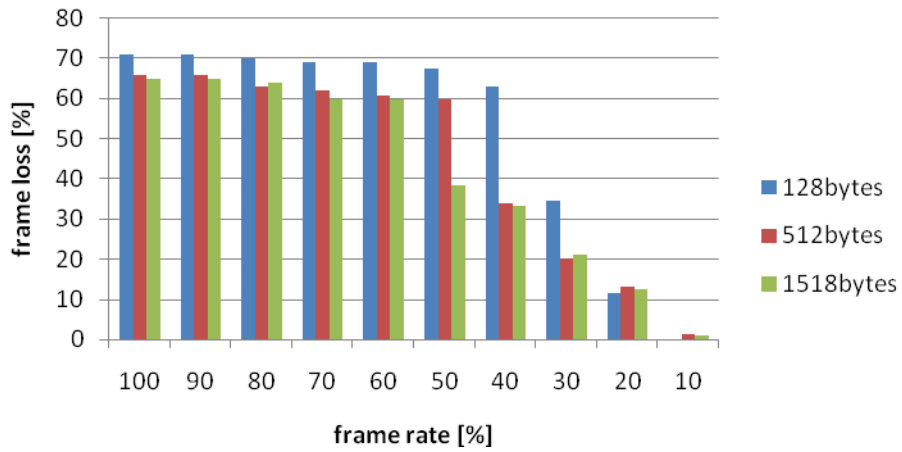
Frame Loss Rate Test								
FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)
128	100	78,986	512	100	69,98	1518	100	67,958
	90	78,984		90	69,978		90	67,952
	80	77,982		80	68,976		80	66,94
	70	75,982		70	66,972		70	63,934
	60	74,976		60	61,968		60	61,934
	50	51,466		50	54,802		50	58,22
	40	31,862		40	37,318		40	34,646
	30	18,934		30	25,022		30	22,78
	20	9,102		20	14,832		20	11,718
	10	0,342		10	2,98		10	1,76

Tab.č.4.5.3: Ztrátovost pro měřicí stanoviště č.3

Frame Loss Rate Test								
FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)
128	100	73,984	512	100	68,936	1518	100	65,922
	90	72,978		90	68,926		90	65,89
	80	69,968		80	67,93		80	64,878
	70	69,972		70	66,902		70	63,916
	60	65,962		60	63,922		60	61,836
	50	50,842		50	57,612		50	56,534
	40	42,462		40	41,126		40	34,424
	30	24,952		30	22,286		30	15,824
	20	10,316		20	14,712		20	7,298
	10	0		10	2,458		10	0

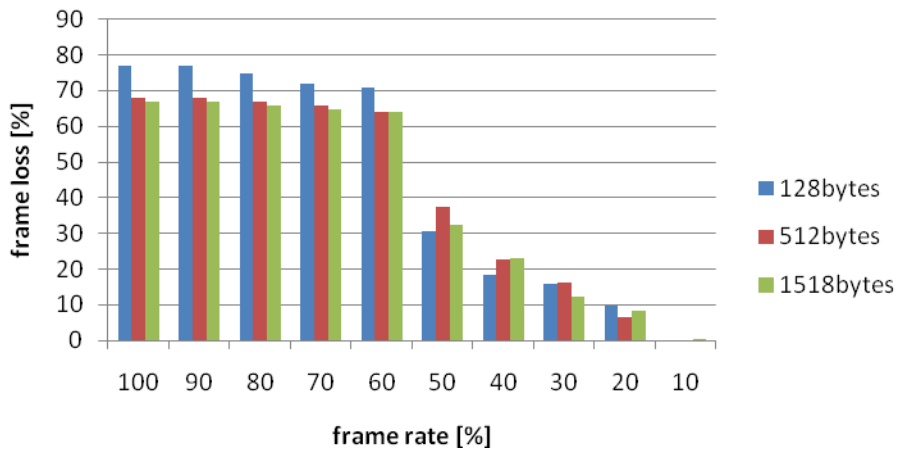
Tab.č.4.5.4: Ztrátovost pro měřicí stanoviště č.4

Ztrátovost u DS2



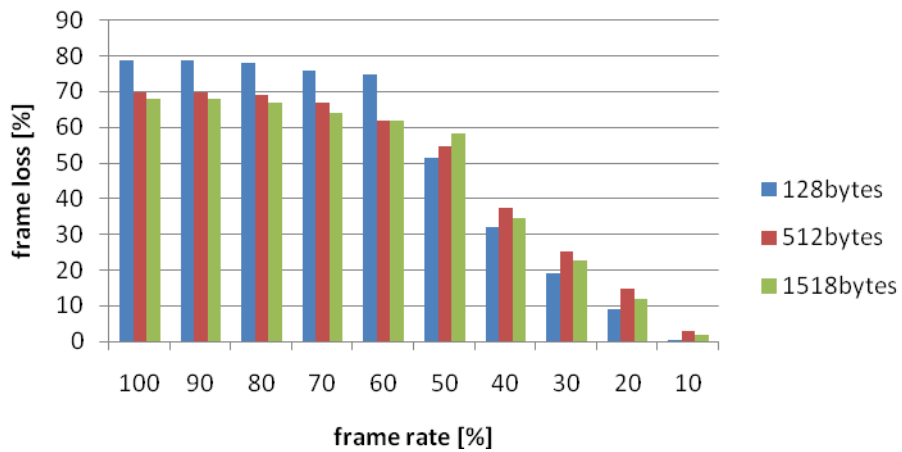
Graf.č.4.5.1: Ztrátovost u DS2 pro měřící stanoviště č.1

Ztrátovost u DS2



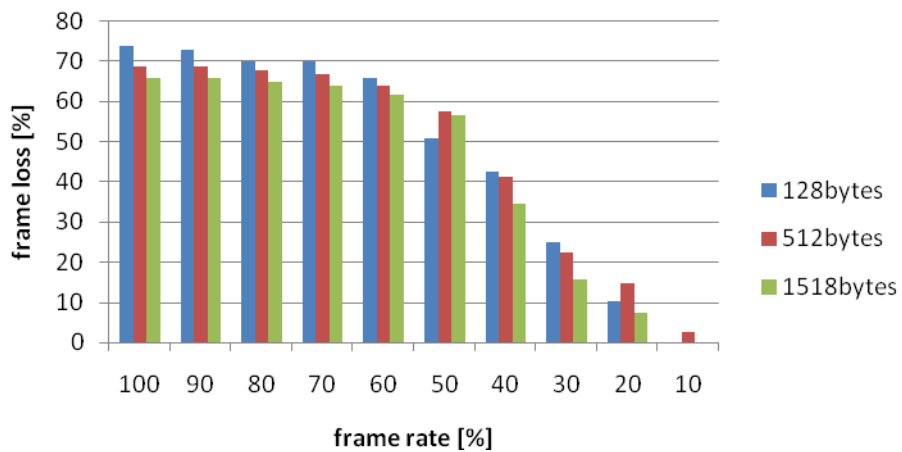
Graf.č.4.5.2: Ztrátovost u DS2 pro měřící stanoviště č.2

Ztrátovost u DS2



Graf.č.4.5.3: Ztrátovost u DS2 pro měřící stanoviště č.3

Ztrátovost u DS2



Graf.č.4.5.4: Ztrátovost u DS2 pro měřící stanoviště č.4

b)HomePlug

Frame Loss Rate Test								
FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)
128	100	66,954	512	100	68,988	1518	100	65,944
	90	66,956		90	68,978		90	65,836
	80	64,944		80	66,968		80	63,812
	70	63,978		70	64,928		70	63,75
	60	59,954		60	61,974		60	61,752
	50	52,464		50	53,11		50	56,672
	40	31,759		40	33,428		40	29,53
	30	11,002		30	19,242		30	18,972
	20	2,152		20	10,88		20	9,99
	10	0		10	1,552		10	0,852

Tab.č.4.5.5: Ztrátovost pro měřicí stanoviště č.1

Frame Loss Rate Test								
FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)
128	100	78,956	512	100	69,984	1518	100	67,898
	90	77,954		90	69,92		90	67,778
	80	75,946		80	68,906		80	67,798
	70	72,982		70	66,874		70	65,76
	60	70,974		60	62,816		60	62,716
	50	53,37		50	55,78		50	59,492
	40	29,144		40	40,874		40	41,252
	30	18,136		30	19,228		30	24,49
	20	10,634		20	7,682		20	15,242
	10	0,594		10	0,75		10	2,856

Tab.č.4.5.6: Ztrátovost pro měřicí stanoviště č.2

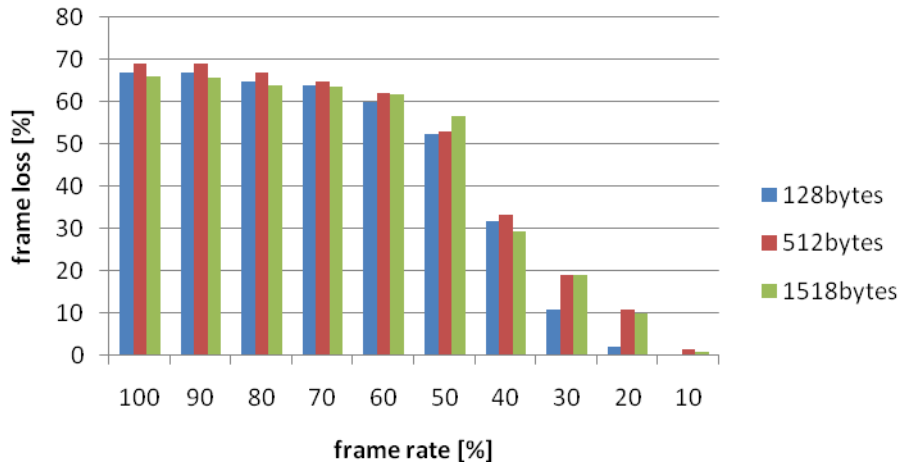
Frame Loss Rate Test								
FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)
128	100	80,954	512	100	71,936	1518	100	68,854
	90	79,95		90	70,94		90	68,83
	80	78,946		80	69,916		80	67,802
	70	78,968		70	67,922		70	66,782
	60	74,974		60	66,912		60	64,744
	50	56,974		50	58,92		50	55,214
	40	39,347		40	40,102		40	39,584
	30	24,682		30	26,976		30	26,286
	20	17,702		20	17,194		20	13,932
10	1,468	10	1,982	10	2,338			

Tab.č.4.5.7: Ztrátovost pro měřící stanoviště č.3

Frame Loss Rate Test								
FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)	FR Size[bytes]	Frame Rate (%)	Frame Loss Rate (%)
128	100	76,958	512	100	68,99	1518	100	67,99
	90	76,952		90	68,94		90	67,822
	80	75,95		80	67,934		80	65,806
	70	73,986		70	65,924		70	63,794
	60	69,978		60	61,912		60	59,75
	50	58,364		50	57,834		50	54,622
	40	33,734		40	36,996		40	30,264
	30	29,198		30	22,408		30	19,658
	20	12,688		20	16,556		20	12,398
10	0,146	10	2,792	10	0,644			

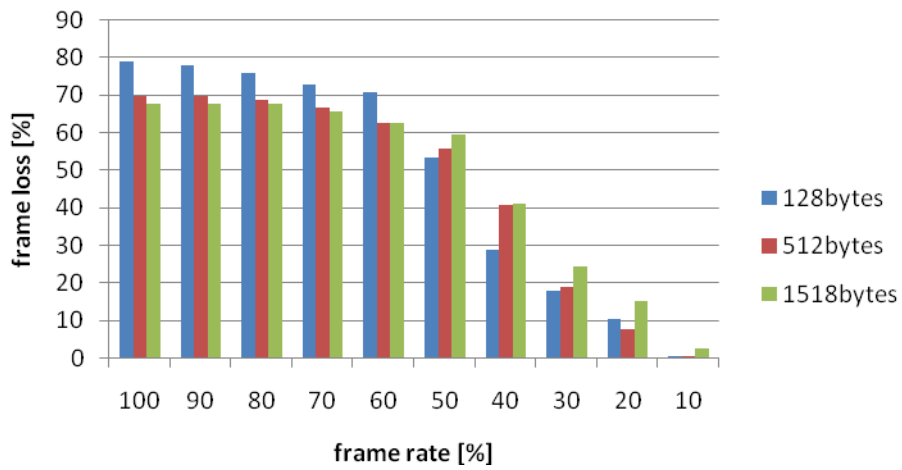
Tab.č.4.5.8: Ztrátovost pro měřící stanoviště č.4

Ztrátovost u HomePlug



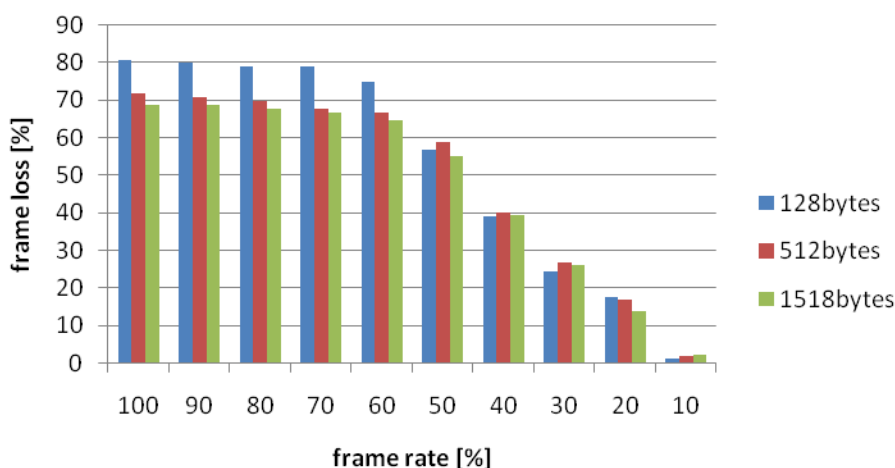
Graf.č.4.5.5: Ztrátovost u HomePlug pro měřicí stanoviště č.1

Ztrátovost u HomePlug



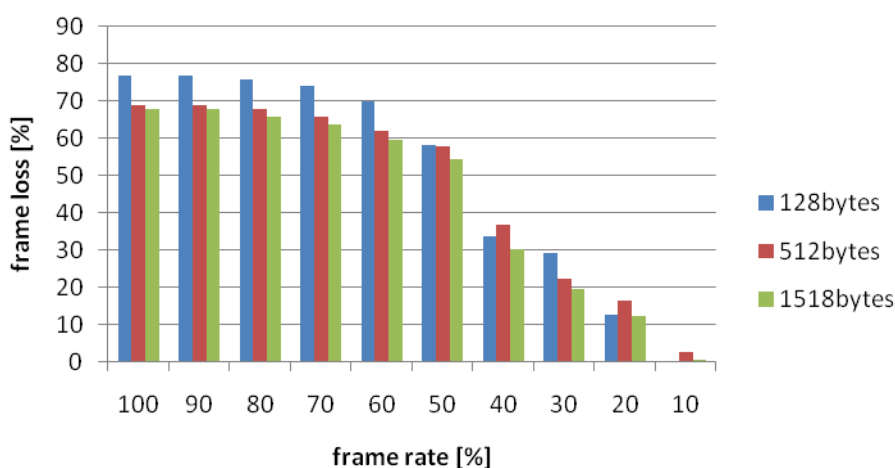
Graf.č.4.5.6: Ztrátovost u HomePlug pro měřicí stanoviště č.2

Ztrátovost u HomePlug



Graf.č.4.5.7: Ztrátovost u HomePlug pro měřicí stanoviště č.3

Ztrátovost u HomePlug



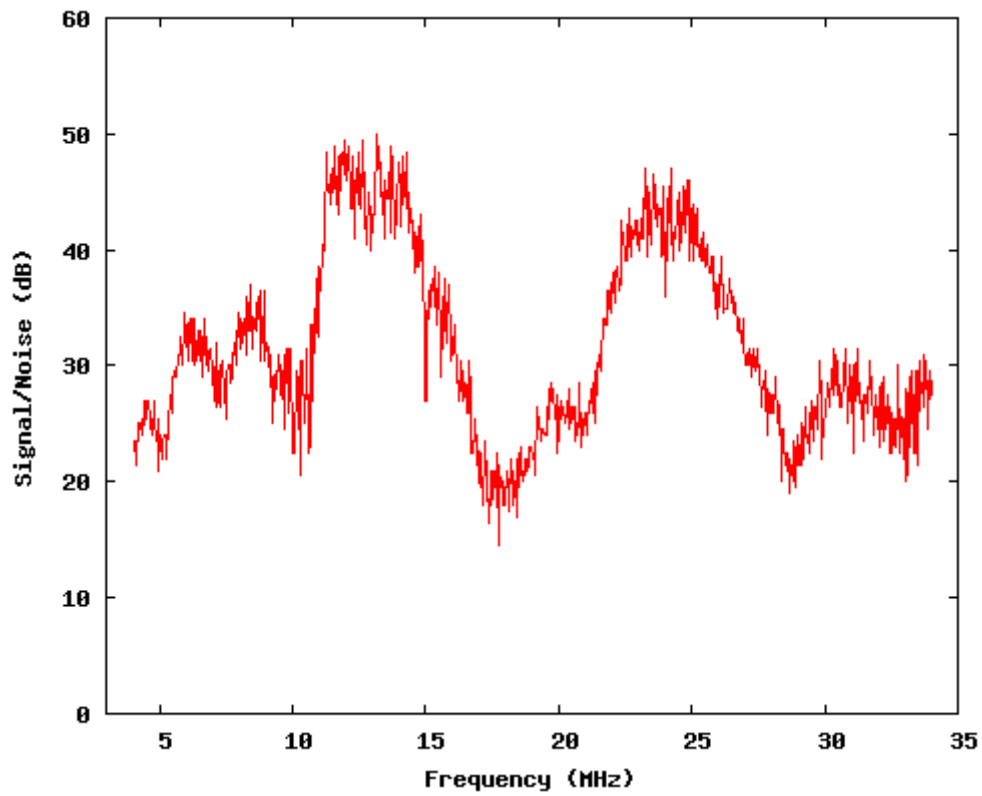
Graf.č.4.5.8: Ztrátovost u HomePlug pro měřicí stanoviště č.4

4.6. Odstup signal-šum SNR

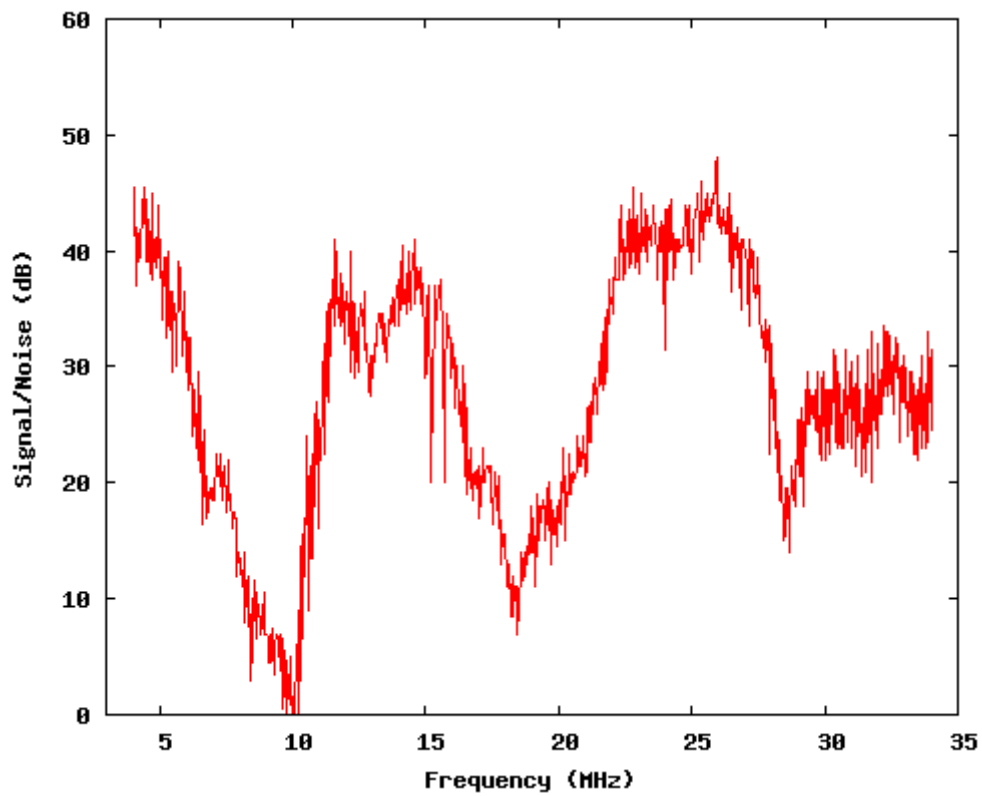
SNR(Signal-to-noise ratio) je poměr výkonu signálu ku výkonu šumu.

$$SNR = 10 \log \frac{P_s}{P_n} [dB]$$

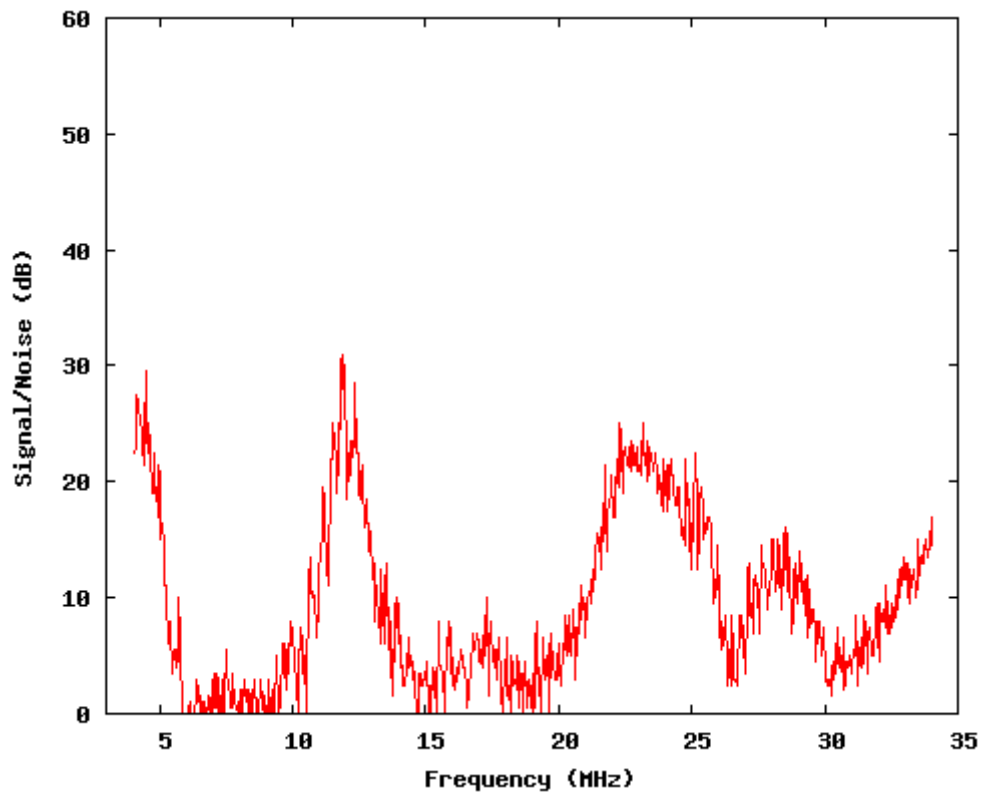
SNR jsem měřil pomocí programu od firmy DefiDev. Měřil jsem ho pro různé vzdálenosti mezi Head-end a CPE viz obr.č.4.1.



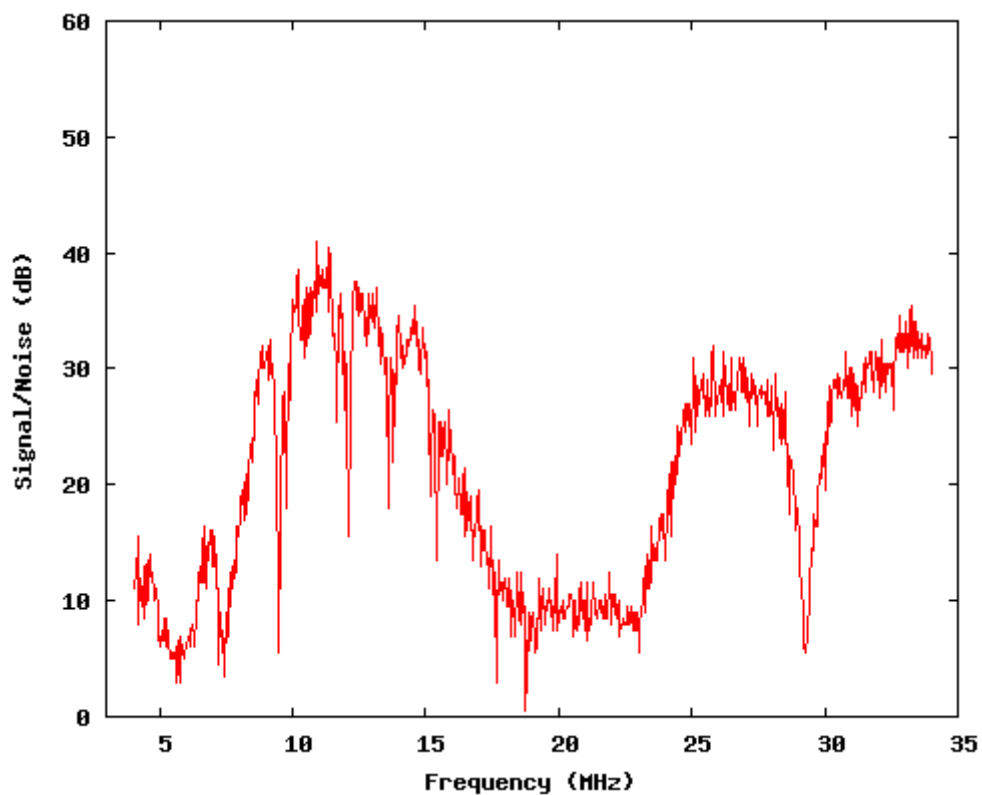
Graf.č.4.6.1: SNR pro měřící stanoviště č.1



Graf.č.4.6.2: SNR pro měřící stanoviště č.2



Graf.č.4.6.3: SNR pro měřící stanoviště č.3

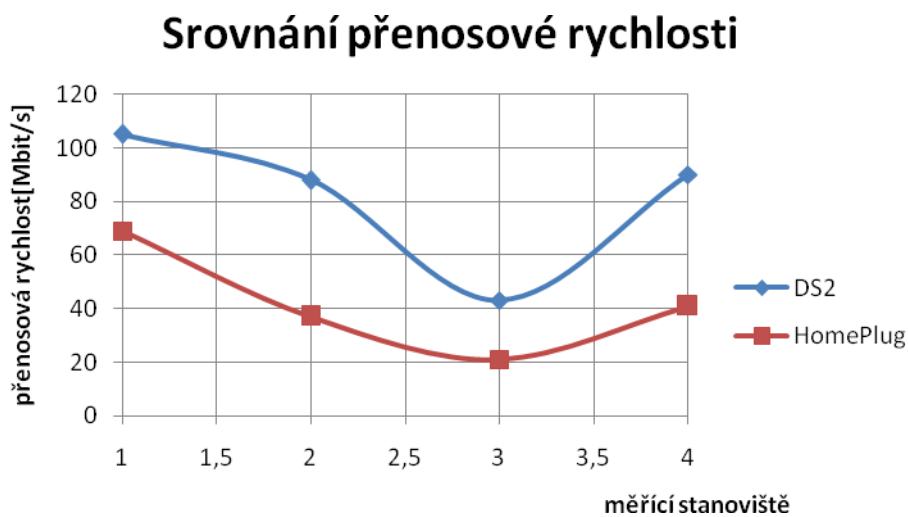


Graf.č.4.6.4: SNR pro měřící stanoviště č.4

5. Srovnání

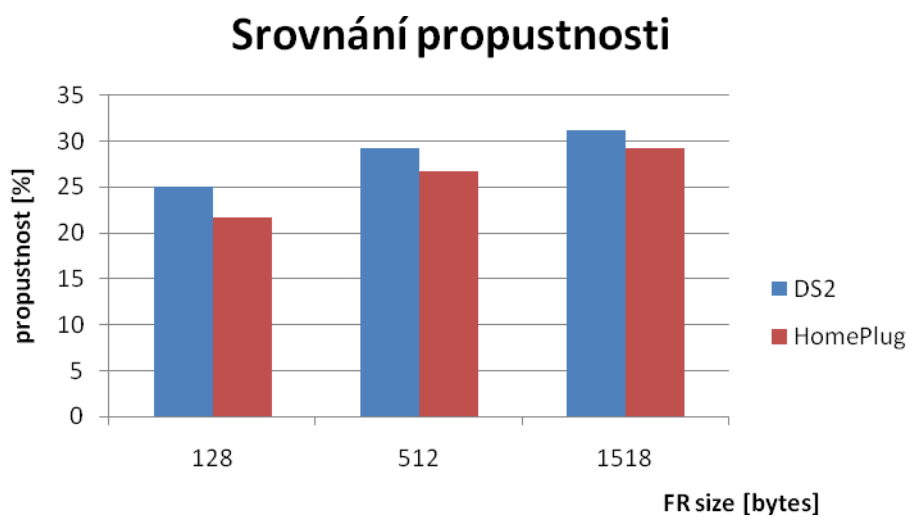
V následující kapitole srovnám systémy DS2 a HomePlug.

a) dle přenosové rychlosti na fyzické vrstvě.



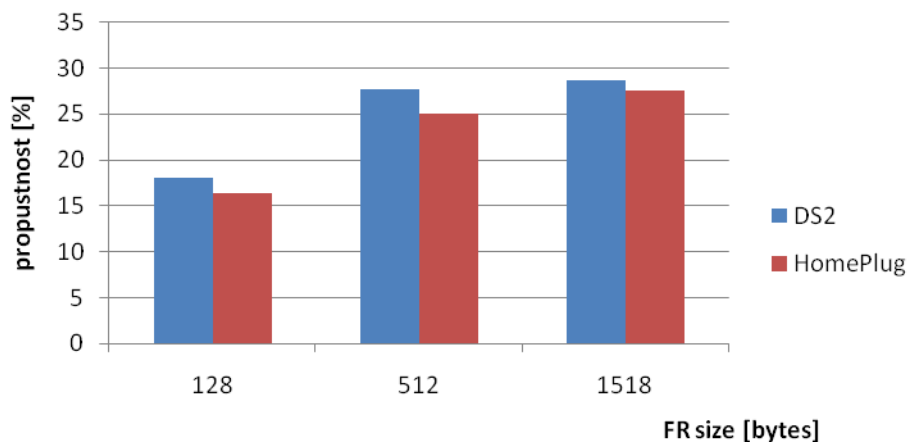
Graf.č.5.1: Srovnání přenosové rychlosti

b) dle propustnosti



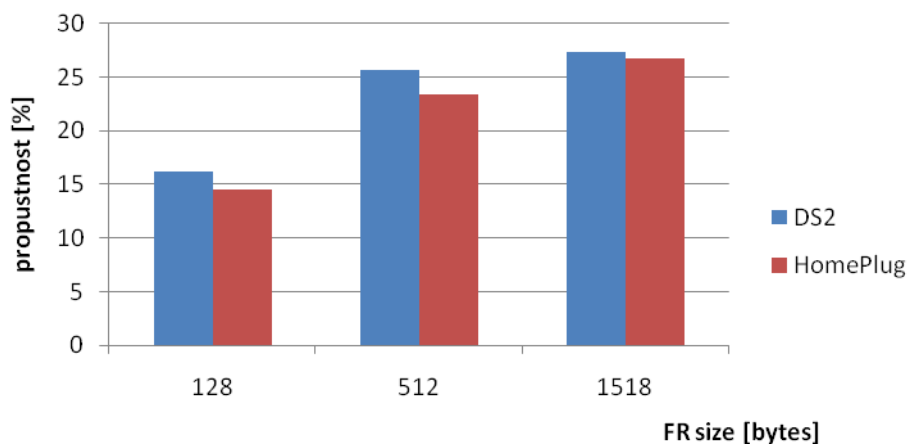
Graf.č.5.2: Srovnání propustnosti pro měřicí stanoviště č.1

Srovnání propustnosti



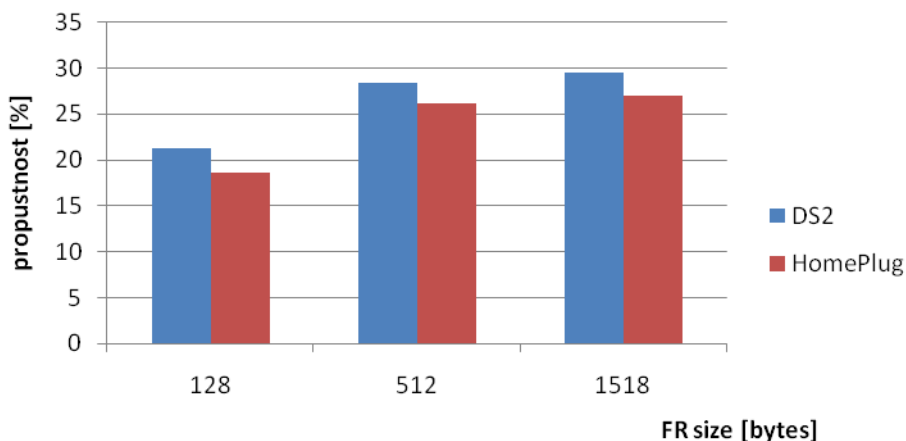
Graf.č.5.3: Srovnání propustnosti pro měřící stanoviště č.2

Srovnání propustnosti



Graf.č.5.4: Srovnání propustnosti pro měřící stanoviště č.3

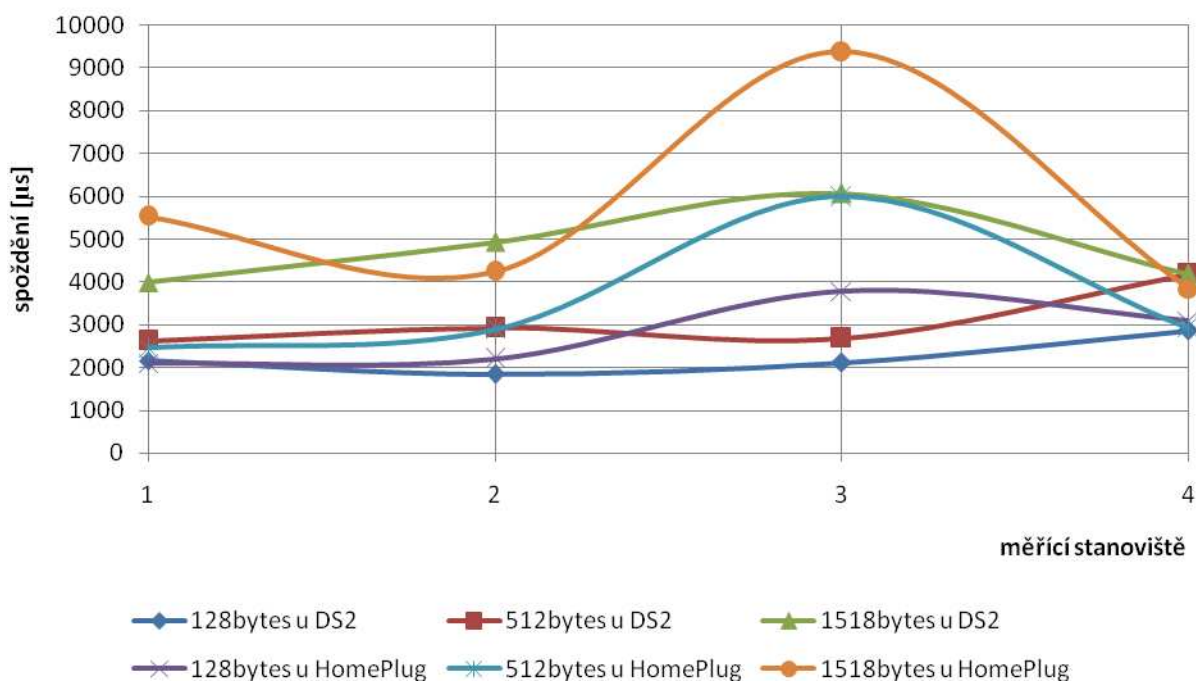
Srovnání propustnosti



Graf.č.5.5: Srovnání propustnosti pro měřící stanoviště č.4

c)dle spoždění

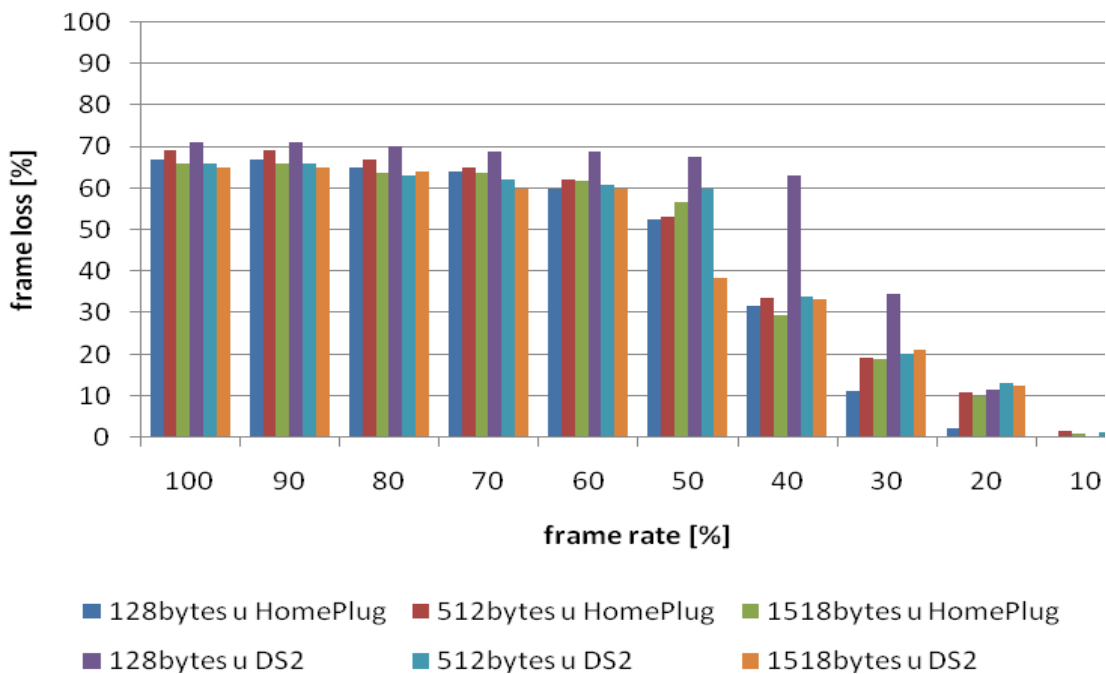
Srovnání zpoždění



Graf.č.5.6: Srovnání zpoždění

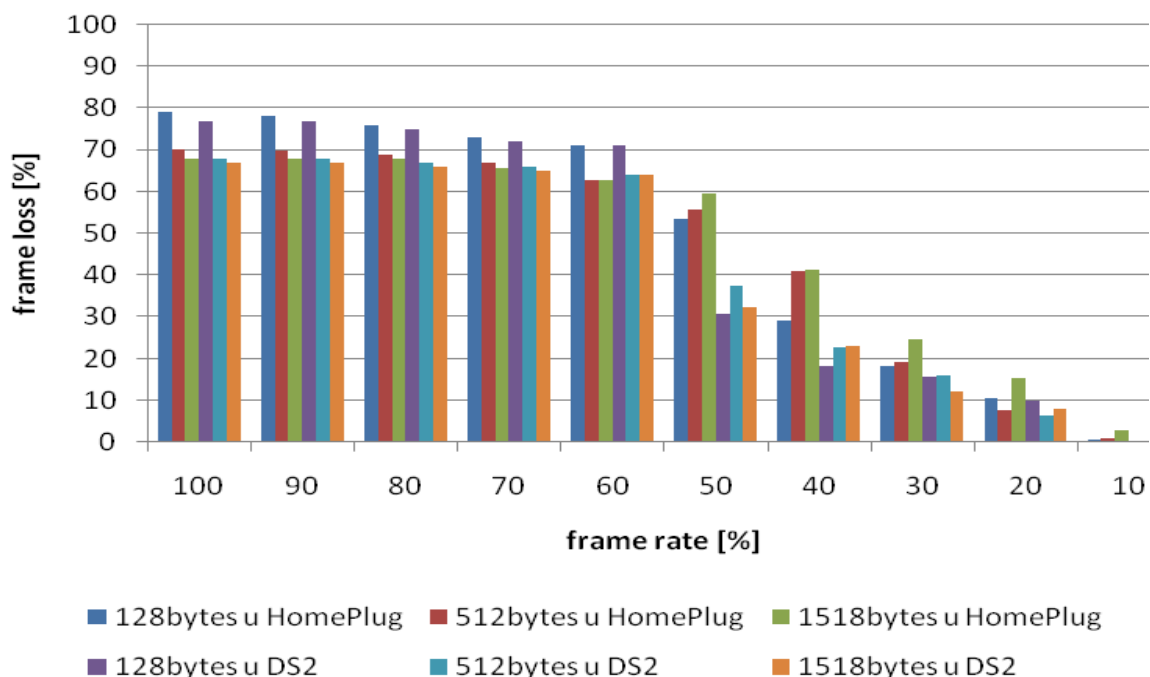
d) dle ztrátovosti

Ztrátovost u HomePlug



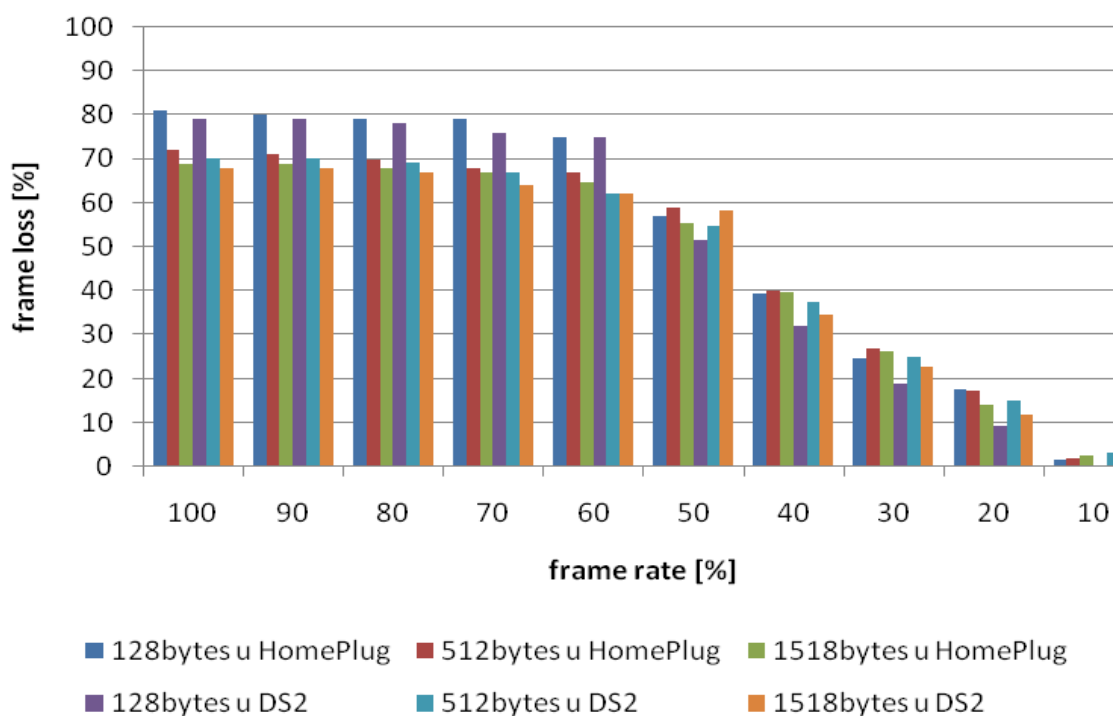
Graf.č.5.7: Srovnání ztrátovosti pro měřicí stanoviště č.1

Ztrátovost u HomePlug



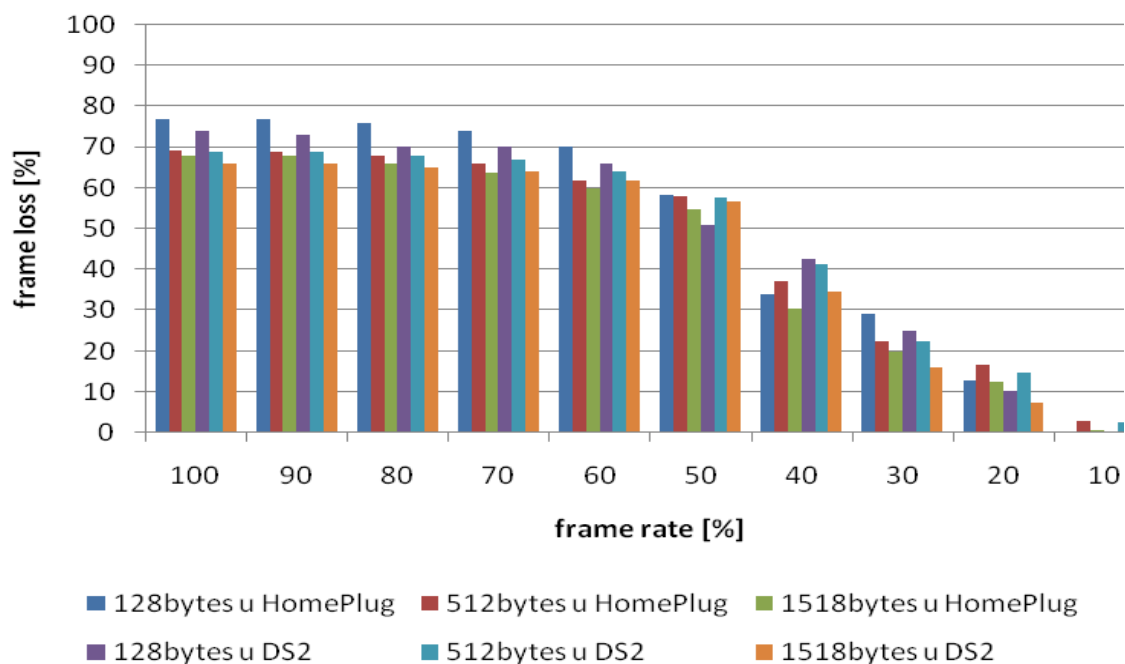
Graf.č.5.8: Srovnání ztrátovosti pro měřicí stanoviště č.2

Ztrátovost u HomePlug



Graf.č.5.9: Srovnání ztrátovosti pro měřicí stanoviště č.3

Ztrátovost u HomePlug



Graf.č.5.10: Srovnání ztrátovosti pro měřicí stanoviště č.4

6. Závěr

Mým cílem v diplomové práci bylo srovnání širokopásmových systémů HomePlug a DS2 technologie PLC.

V teoretické části jsem se zaměřil na popis širokopásmových systému pro datovou komunikaci po silnoproudých vedeních. Zvláště na systémy DS2 a HomePlug. U nich jsem popsal varianty čipů, verze, architekturu sítě a jednotlivé prvky. Jelikož neexistuje žádná specifická norma pro testování PLC modemů, navrhnul jsem metodiku měření. Testoval jsem propustnost, ztrátovost, zpoždění a přenosovou rychlost na fyzické vrstvě.

V praktické části jsem realizoval laboratorní sítě s oběma systémy. Systémy byly měřeny v domácnosti za běžného provozu. Nejprve jsem zprovoznil síť se systémem DS2. Tato technologie je náročnější na instalaci a nastavení. Jsou zde zapotřebí odbornější znalosti. V programu od firmy Defidev jsem nastavil IP adresy, nakonfiguroval síť, ať komunikuje v pásmu 4MHz – 34MHz. Změřil přenosovou rychlost na fyzické vrstvě a zjistil poměr odstupu signál-šum. Dále pomocí přístroje Trend Unipro GbE jsem změřil propustnost, zpoždění a ztrátovost pro různé délky vedení.

Pak jsem se zabýval technologií HomePlug. Její instalace je velmi snadná a není potřeba nic nastavovat. Pro měření přenosové rychlosti na fyzické vrstvě jsem měl k dispozici program od společnosti Level One. Dále pomocí přístroje Trend Unipro GbE jsem změřil propustnost, zpoždění a ztrátovost pro různé délky vedení.

V závěrečné části jsem naměřené hodnoty srovnal (viz kapitola 5). Jak je patrné z mnou provedených testů, tak technologie DS2 dosahuje lepších výsledků než technologie Homeplug. Rozdíl u přenosových rychlostí dosahoval hodnoty i 57Mbit/s. Rozdíl u propustnosti a ztrátovosti se pohyboval v řadu 5ti %. U zpoždění byl rozdíl okolo 1ms, největší rozdíl činil 3ms.

7. Literatura

- [1] HRASNICA, HAIDINE, LEHNERT. *Broadband Powerline Communications Network design*, ISBN:0-470-85741-2, 2004.
- [2] DOSTERT, Klaus. *Powerline Communications. Upper Saddle River, NJ 07458* : Prentice Hall PTR, 2001. 338 s. ISBN 0-13-029342-3.
- [3] OFDM, wikipedie [online], Dostupné z WWW:
< <http://cs.wikipedia.org/wiki/OFDM> >
- [4] Power line communication, wikipedie [online], Dostupné z WWW:
< http://en.wikipedia.org/wiki/Power_line_communication >
- [5] NĚMEC, Karel. *Datová komunikace*, 1.9.2007
- [6] HomePlug [online], Dostupné z WWW: <
<http://www.internetprovsechny.cz/blesk.php?cbl=270> >
- [7] ČSN EN 50065 [online], Dostupné z WWW:
< <http://shop.bsigroup.com/en/ProductDetail/?pid=000000000030202784> >
- [8] NĚMEC, Karel., ZEMAN, Václav. *BDAKLab4_PLC_2010*
- [9] HAVLOVIC, Karel. *Moduly pro komunikaci po silovém vedení 230V*, ČVUT 2005
- [10] NOVOTNÝ, V., *Architektura sítí*, skripta, Brno 2002.
- [11] TRLIDA, Pavel. *Datová komunikace v energetické síti*. Siplomová práce, VUT v Brně, ústav telekomunikací. 2007.
- [12] Power Line Communication [online], Dostupné z WWW:
< http://en.wikipedia.org/wiki/Powerline_communication >
- [13] HomePlug Powerline aliance [online], Dostupné z WWW:
< http://en.wikipedia.org/wiki/HomePlug_Powerline_Alliance >
- [14] ČÍŽ, Radim. *Teorie sdělování*, skripta.
- [15] BURDA, K., *Návrh, správa a bezpečnost počítačových sítí*, skripta.
- [16] Bradner, S., RFC 2544 – Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices, IETF, 1999
- [17] DS2 [online], Dostupné z WWW:
< <http://www.ds2.es> >
- [18] Trend Unipro GbE [online], Dostupné z WWW:
< <http://www.trinstruments.cz/trend-unipro> >

8. Seznam použitých veličin, symbolů a zkratk

Veličiny

<i>Název</i>	<i>Jednotka</i>
Odezva	[s]
Přenosová rychlost	[bit/s]
Vzdálenost	[m]
Zpoždění	[s]
Propustnost	[%],[bps]
Ztrátovost	[%]
Čas zotavení	[s]

Zkratky

<i>zkratka</i>	<i>vysvětlení</i>
PLC	přenos dat po silové elektrické síti
DSSS	technika přímého rozprostřeného spektra
GMSK	speciální typ uzkopásmové modulace
OFDM	ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením
QPSK	kvadrurní fázová modulace
QAM	kvadrurní amplitudová modulace