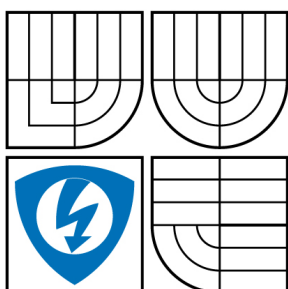




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

SYSTÉMY ŠIROKOPÁSMOVÉHO PŘENOSU PO ENERGETICKÝCH SÍTÍCH

BROADBAND SERVICES OVER POWER LINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

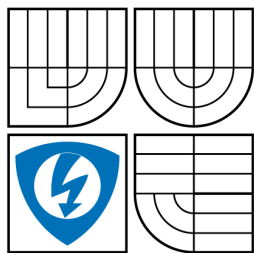
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN SVOBODA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETER STANČÍK

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Jan Svoboda

ID: 72883

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Systémy širokopásmového přenosu po energetických sítích

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte aktuální situaci v oblasti systémů širokopásmového přenosu po energetických sítích. Popište princip fungování těchto systémů a realizujte testování jejich základních charakteristik.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] HRASNICA, H., HAIDINE, A., LEHNERT, R., Broadband Powerline Communications: Network Design, Wiley, 2004, ISBN 978-0-470-85741-0

[2] HELD, G., Understanding Broadband over Power Line, Taylor & Francis Group, LLC, 2006, ISBN 0-8493-9846-0

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 2.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Peter Stančík

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na shromáždění základních poznatků z oblasti PLC systémů. Zkoumá současnou problematiku v oblasti komunikace po energetických napájecích sítích. Jejím cílem je poskytnout ucelené informace o jednotlivých oblastech využití PLC systémů, jak v domácnostech, v automatizačních úlohách, tak i v možnostech širokopásmového připojení. První část práce obsahuje teoretické informace o PLC sítích, druhá část se zabývá testováním základních parametrů vlastní PLC sítě. Ze všech provedených měření jsou vyvozeny závěry a je zhodnocena použitelnost měřených zařízení.

Klíčová slova

širokopásmové sítě, PLC technologie, domácí PLC sítě, úzkopásmová technologie, přenos dat, testování PLC sítí

Abstract

The Bachelor's thesis is intend on assembly of basic informations from area of PLC systems. It envisages the modern problems in area of communication on the energy supply networks. By the aim is provide compact informations about particular areas of usage PLC systems – both in a household, an automatic exercises and in a possibilities of broadband. The first part of thesis includes the theoretical informations about PLC network. The second part considers by testing of basic parameters PLC network. Of all the made measurements are draw conclusions and valorize the usability of metering devices.

Keywords

broadband networks, PLC technology, in-home PLC networks, narrowband PLC, data transfer, testing of PLC networks

Bibliografická citace

SVOBODA, J. *Systémy širokopásmového přenosu po energetických sítích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Peter Stančík.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Systémy širokopásmového přenosu po energetických sítích jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne 2. června 2009

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Peteru Stančíkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 2. června 2009

.....
podpis autora

Obsah

1. Úvod	9
2. Technologie PLC.....	10
2.1 Struktura elektrické rozvodné sítě.....	10
2.1.1 Domácí elektroinstalace	10
2.2 Historický vývoj v oblasti PLC	11
2.3 Úzkopásmová PLC technologie	12
2.3.1 Úzkopásmová PLC technologie v domácích sítích.....	13
2.4 Širokopásmové PLC.....	14
2.4.1 Současné využití širokopásmového PLC	15
2.5 Využití PLC v domácnostech (in-home).....	15
3. Specifikace PLC	18
3.1 Standardizace	18
3.2 Elektromagnetická kompatibilita	19
3.2.1 Chyby přenosu.....	22
3.3 Charakter přenosového kanálu	23
3.4 Základní prvky PLC sítě	23
4. Měření	25
4.1 Zařízení AirLive HP-2000E	25
4.1.1 Specifikace zařízení.....	25
4.1.2 Měření zařízení AirLive HP-2000E	26
4.1.3 Měření doby odezvy	27
4.1.4 Propustnost systému HomePlug AirLive HP-2000E	28
4.1.5 Parametry zjištěné pomocí portálu www.dsl.cz	28
4.1.6 Rychlost na fyzické vrstvě	30
4.1.7 Vlastnosti přenosového kanálu.....	31
4.1.8 Závěry vyplývající z měření.....	33
4.2 Zařízení Defidev/DS2 AGW-100.....	34
4.2.1 Specifikace AGW-100	34
4.2.2 Měření systému Defidev/DS2 AGW-100	35
4.2.3 Změřené parametry systému DS2	36
4.2.4 SNR	37
4.2.5 Závěr k měření systému Defidev/DS2 AGW-100	43
4.3 Porovnání měřených systémů.....	43
5. Závěr.....	44
6. Seznam použité literatury	45

Seznam obrázků

Obr. 2.1: Struktura elektrické napájecí sítě.....	11
Obr. 2.2: PLC síť.....	12
Obr. 2.3: Struktura automatizačního systému pomocí úzkopásmového PLC.....	14
Obr. 2.4: Struktura domácí PLC sítě, BS-základnová stanice, M- elektroměr.....	16
Obr. 3.1: Rušivé vlivy v PLC síti.....	20
Obr. 4.1: Zapojení adaptérů typu HomePlug.....	25
Obr. 4.2: Graf závislosti časové odezvy na délce přenosové cesty u systému HomePlug....	26
Obr. 4.3: Graf závislosti propustnosti na délce přenosové cesty u systému HomePlug.....	27
Obr. 4.4: Graf závislosti odezvy na délce přenosové cesty dle www.dsl.cz	28
Obr. 4.5: Graf závislosti propustnosti na délce přenosové cesty dle www.dsl.cz	28
Obr. 4.6: Graf závislosti rychlosti na fyzické vrstvě na délce přenosové cesty systému HomePlug.....	29
Obr. 4.7: Spektrum signálů obsažených v el. rozvodné síti bez připojeného PLC zařízení...30	
Obr. 4.8: Spektrum signálů obsažených v el. rozvodné síti obsahující komunikaci pomocí PLC.....	30
Obr. 4.9: Průběh změřený ve vzdálenosti 1 metr od vysílací části.....	31
Obr. 4.10: Průběh získaný ve vzdálenosti 40 metrů od vysílací části.....	31
Obr. 4.11: PLC síť se zařízením DS2.....	33
Obr. 4.12: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce přenosové cesty u systému DS2....	34
Obr. 4.13: Poměr SNR pro vzdálenost 1 metr.....	35
Obr. 4.14: Poměr SNR pro vzdálenost 1 metr získaný programem DS2status.....	35
Obr. 4.15: Poměr SNR pro vzdálenost 30 metrů.....	36
Obr. 4.16: Poměr SNR pro vzdálenost 30 metrů získaný programem DS2status.....	36
Obr. 4.17: Poměr SNR pro vzdálenost 35 metrů.....	37
Obr. 4.18: Poměr SNR pro vzdálenost 35 metrů získaný programem DS2status.....	37
Obr. 4.19: Poměr SNR pro vzdálenost 40 metrů.....	38
Obr. 4.20: Poměr SNR pro vzdálenost 40 metrů získaný programem DS2status.....	38
Obr. 4.21: Poměr SNR pro vzdálenost 50 metrů.....	39
Obr. 4.22: Poměr SNR pro vzdálenost 50 metrů získaný programem DS2status.....	39
Obr. 4.23: Poměr SNR pro vzdálenost 65 metrů.....	40
Obr. 4.24: Poměr SNR pro vzdálenost 65 metrů získaný programem DS2status.....	40

Seznam tabulek

Tab. 2.1: Další služby umožňující širokopásmovou komunikaci.....	17
Tab. 3.1: Komunikační pásma dle normy CENELEC.....	18
Tab. 3.2: Možné zdroje rušení PLC a jejich pásma.....	21
Tab. 4.1: Specifikace zařízení AirLive HP-2000E.....	24
Tab. 4.2: Průměrná odezva v závislosti na vzdálenosti.....	26
Tab. 4.3: Propustnost v závislosti na vzdálenosti	27
Tab. 4.4: Odezva a propustnost dle www.dsl.cz	27
Tab. 4.5: Závislost rychlosti na fyzické vrstvě na délce přenosové cesty.....	29
Tab. 4.6 Parametry systému AGW-100.....	33
Tab. 4.7 Parametry systému DS2.....	34

1. Úvod

Přístupové sítě zprostředkovávají připojení uživatelů na širokou oblast komunikačních sítí. Umožňují velkému počtu účastníků přístup k nejrozličnějším telekomunikačním službám. Nicméně, náklady na realizaci, instalaci a údržbu přístupových sítí jsou velmi vysoké. Dle [1] velmi často představují více než 50% investic do sítí. Slibnou možností pro realizaci přístupových sítí nabízí komunikace po energetických sítích (PowerLine Communications - PLC, případně Broadband over PowerLine - BPL). PLC umožňuje použití elektrické sítě pro účely komunikace a dnes také širokopásmové komunikační služby. Hlavní myšlenka PLC je snížení provozních nákladů a výdajů na realizaci nových telekomunikačních sítí.

Použití elektrických rozvodných sítí pro telekomunikace je známo už od začátku dvacátého století [1]. Vysoko, středně i nízko napěťové sítě byly použity pro vnitřní komunikaci elektrických zařízení, pro realizaci dálkového měření a kontrolní úkoly. PLC se používá také ve vnitřních elektrických instalacích uvnitř budov a domů (tzv. in-home PLC) pro různé komunikační aplikace.

Obecně platí, že můžeme rozdělit PLC systémů do dvou skupin. Úzkopásmové PLC umožňující komunikaci s relativně nízkou přenosovou rychlostí (až 100 kbit/s), k zajištění komunikace různých automatizačních a řídicích aplikací, případně přenos několika hlasových kanálů a širokopásmových PLC systémů, které umožňují rychlost přenosu dat přes 2Mbit/s [1] a realizaci řady typických telekomunikačních služeb jako je telefonování a přístup na internet. Použití širokopásmového PLC v nízkonapěťových rozvodných sítích se zdá být nákladově nejefektivnější řešení při realizaci komunikační sítě v tzv. "poslední míli".

V současnosti je velké množství společností zaměřeno na vývoj a použití technologie PLC [1]. Počet zkušebních uživatelů technologie PLC stále roste. Zvláště v USA, kde je již tato technologie využívána pro různé firemní a lokální sítě.

Na druhou stranu, neexistují žádné stávající normy pro širokopásmové PLC sítě, které využívají frekvenční rozsah až 30 MHz [1]. Zejména problém s elektromagnetickou kompatibilitou PLC systémů, jejich „soužití“ s ostatními telekomunikačními systémy, jako jsou různé rozhlasové služby, není dosud zcela vyřešen. Proto je nyní PLC technologie ve velmi důležité vývojové fázi, která určí její budoucnost, její aplikační oblasti a její pronikání do telekomunikačního světa v soutěži s jinými širokopásmovými technologiemi. Kvůli neexistenci mezinárodní normy a srozumitelnému podrobnému zveřejnění materiálů z výzkumu výrobců PLC, existuje v literatuře velmi málo informací o širokopásmových PLC systémech a sítích.

2. Technologie PLC

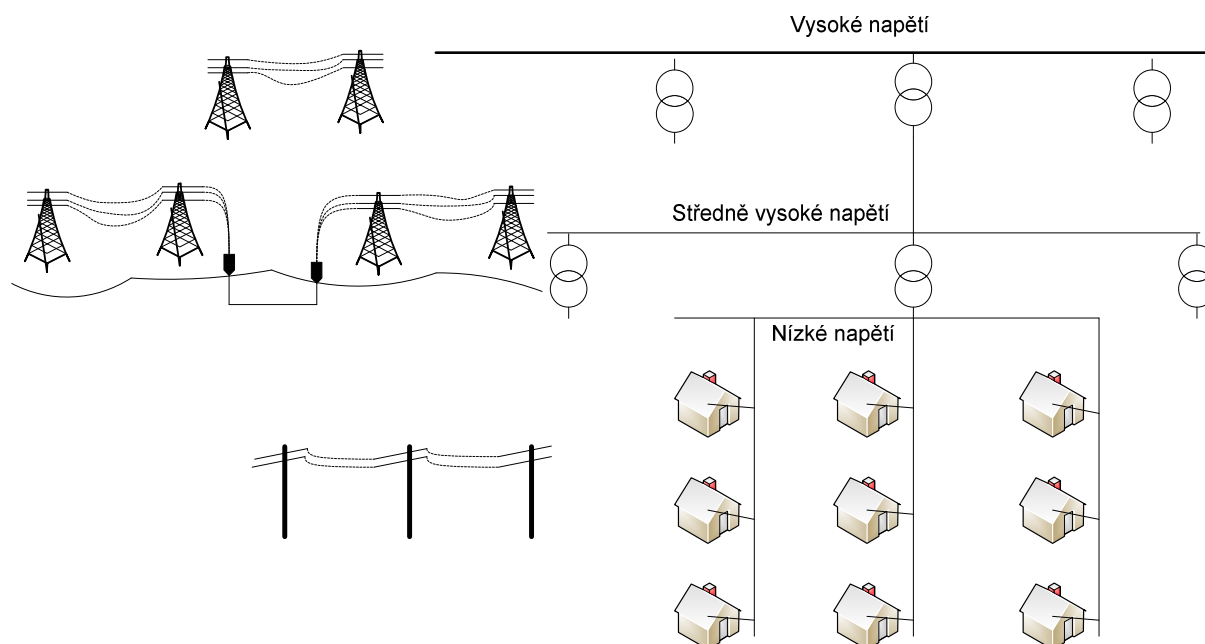
2.1 Struktura elektrické rozvodné sítě

Energetická distribuční síť se skládá ze tří napěťových úrovní, které mohou být použity pro realizaci sítě PLC:

- Velmi vysoké napětí (VVN), napětí 110-380 kV - propojují velké oblasti, regiony, případně největší odběratele. Pokrývají obvykle velmi velké vzdálenosti, což umožňuje energetické dodávky v rámci kontinentu. Sítě VVN jsou obvykle realizovány nadzemními kabely.
- Vysoké napětí (VN), napětí 10-30 kV (někdy též středně vysoké napětí) – slouží pro zajištění dodávek menším oblastem, městům a velký průmyslovým podnikům. Pokryté vzdálenosti jsou podstatně kratší, než je tomu u VVN. Vysokonapěťové sítě jsou tvořeny jak nadzemním vedením, tak i kabely uloženými pod zemí.
- Nízké napětí (NN), napětí 230/400 V, v USA 110 V - dodávky koncovým uživatelům. Jejich délka je zpravidla několik set metrů. V městských oblastech jsou sítě NN realizovány pomocí podzemních kabelů, ve venkovských oblastech také nadzemním vedením.

2.1.1 Domácí elektroinstalace

Elektroinstalace v domácnostech patří do NN úrovně. Vnitřní elektroinstalace patří vlastníkům domů, na venkovní síť jsou připojeni přes elektroměr. NN PLC síť lze připojit přímo ke koncovým zákazníkům. Z toho vyplývá, že použití technologie PLC v nízkonapěťových sítích má velkou perspektivu pokud jde o počet připojených zákazníků. NN PLC nabízí velmi rychlé a jednoduché připojení posledních několika stovek metrů mezi zákazníky a transformátorem a nabízí tak alternativní řešení v otázce přístupu „poslední míle“.



Obr. 2.1: Struktura elektrické napájecí sítě

2.2 Historický vývoj v oblasti PLC

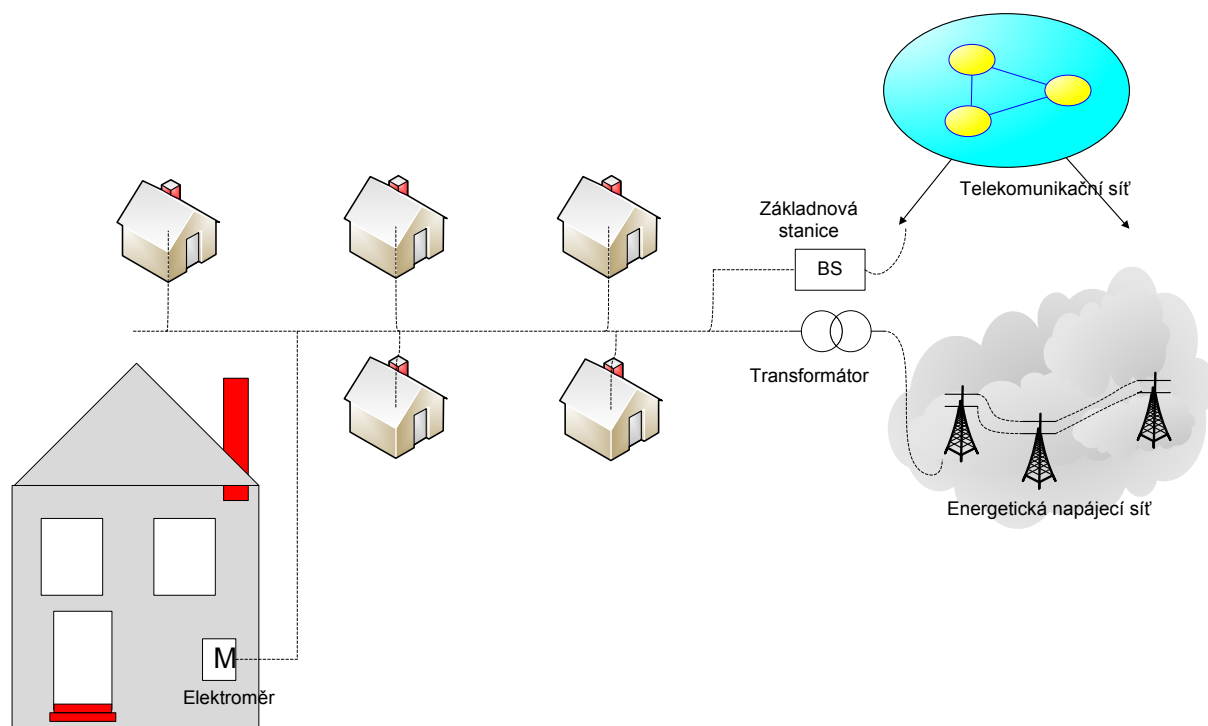
Počátky vzniku technologie PLC můžeme nalézt na začátku 20. století [2], kdy se v Evropě objevily první systémy využívající komunikaci přes energetické sítě. První systémy s nosnou frekvencí (Carrier Frequency Systems - CFS) byly provozovány ve vysokonapěťových rozvodných sítích a byly schopny překonat vzdálenosti nad 500 km s použitím 10 W přenosového výkonu. Tyto systémy byly použity pro interní komunikaci elektrických zařízení, realizaci dálkového měření a kontrolní úkoly. Jednalo se o hromadné dálkové ovládání rozvodné sítě.

Komunikace přes středně a nízko napěťové sítě byla také realizována. Systémy pro přenos signalizace nosnou vlnou (Ripple Carrier Signaling - RCS) byly aplikovány na středně a nízko napěťové sítě pro realizaci řízení elektrických napájecích systémů [1].

Další vývoj PLC technologie byl zaměřen zejména do oblasti automatického vzdáleného řízení. Až na konci 80. let došlo k navrhování technologií, které byly schopny poskytnout širokopásmový přenos po energetickém vedení. V roce 1997 se uskutečnilo první odzkoušení tohoto způsobu komunikace a to ve Velké Británii [2].

Vývoj v oblasti širokopásmových systémů od té doby samozřejmě pokročil. Zatímco první širokopásmové systémy nabízely rychlost v řádu jednotek Mbit/s, současné technické prostředky mohou pracovat s přenosovou rychlostí až 200 Mbit/s. V současnosti je technologie

PLC hojně využívána při realizaci tzv. In-home PLC systémů. Ty umožňují správu řady elektrických zařízení v budově nebo soukromém domě z centrálního řídicího místa bez nutnosti instalace komunikační sítě. Podle [1], jsou typické in-home PLC systémy používány pro dohled nad vytápěním, osvětlením, zabezpečením domu apod. Lze pomocí nich vytvořit také interní domácí komunikační síť typu LAN.



Obr. 2.2: PLC síť

2.3 Úzkopásmová PLC technologie

Úzkopásmové PLC sítě jsou provozovány ve frekvenčním rozsahu, který je určen normou CENELEC. Tento frekvenční rozsah je rozdělen do tří pásem: **A**, které má být používáno distributory a **B** a **C**, které jsou určeny pro soukromé použití. Frekvence v pásmech B a C se používají hlavně v oblasti automatizace. V současné době úzkopásmové PLC systémy poskytují rychlost přenosu dat až na několik tisíc bitů za sekundu [1]. Maximální vzdálenost mezi dvěma PLC modemy může být až 1 km. K překonání delších vzdáleností je nutné použít opakovač.

U úzkopásmových PLC systémů se stejně jako u širokopásmových uplatňuje několik modulačních režimů. Dle [1] využívaly první úzkopásmové PLC sítě amplitudovou modulaci (Amplitude Shift Keying - ASK). ASK však není odolná proti rušení, a proto jako taková není vhodná pro použití v sítích PLC. Další možností je použití dvoustavového kličování fázovým

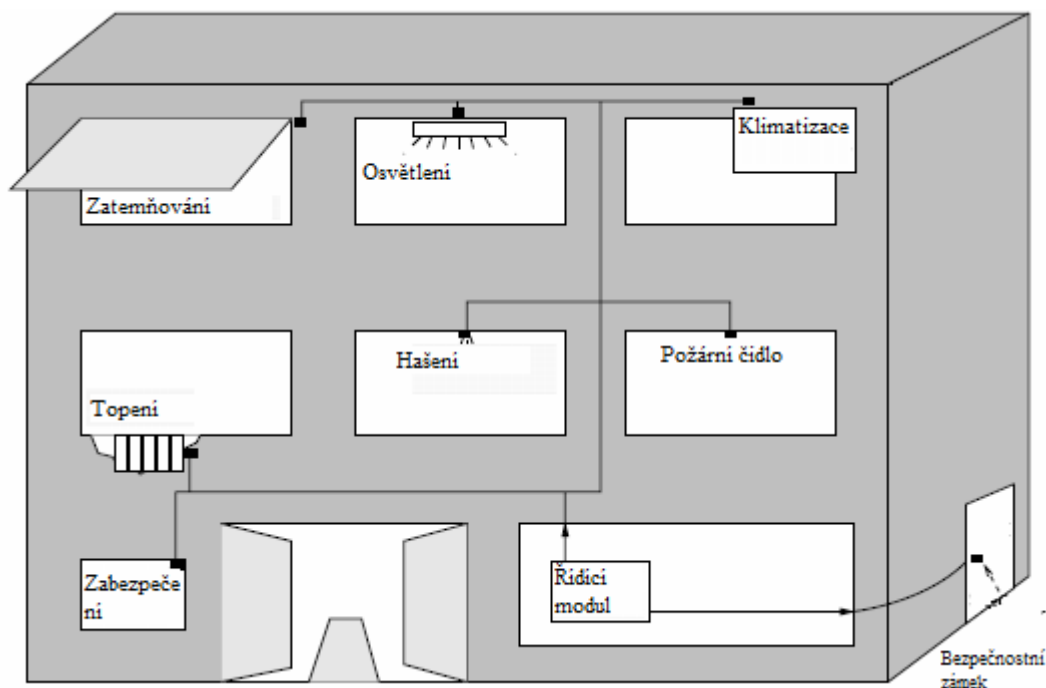
posunem (Binary Phase Shift Keying - BPSK). Toto je odolné proti rušivým vlivům a je vhodné pro použití v PLC. Nicméně, detekce fáze, která je nezbytná pro realizaci BPSK, může být složitá a tak se BPSK systémy běžně nepoužívají. Nejnovější úzkopásmové PLC systémy využívají frekvenční modulaci (Frequency Shift Keying - FSK) [4]. Další přenosový režim, který se také používá v úzkopásmovém PLC je ortogonální kmitočtový multiplex (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM).

2.3.1 Úzkopásmová PLC technologie v domácích sítích

Velmi důležitá oblast využití úzkopásmového PLC je také v budovách. Automatizační PLC systémy jsou realizovány bez instalace dodatečné komunikační sítě. To znamená, že vysoké náklady, které jsou nutné pro instalaci nových sítí v rámci stávajících budov, mohou být významně sníženy využitím technologie PLC. Automatizační systémy realizované pomocí PLC lze použít pro různé účely:

- Ovládání různých zařízení, které jsou spojeny s vnitřní elektroinstalací, například osvětlení, vytápění, klimatizace, výtahy, atd.
- Centrální ovládání různých systémů, jako je zatemňování oken, ovládání dveří.
- Zabezpečovací úlohy, dohled, propojení senzorů, atd.

Automatizační PLC systémy nejsou používány pouze ve velkých budovách, ale vyskytují se často také v soukromých domácnostech, pro realizaci podobných automatizačních úkolů (domácí automatizace). V tomto případě se hovoří o tzv. "inteligentních domech".



Obr. 2.3: Struktura automatizačního systému pomocí úzkopásmového PLC

2.4 Širokopásmová PLC

Širokopásmové PLC systémy poskytují podstatně vyšší rychlost přenosu dat než úzkopásmové PLC systémy (více než 2 Mbit/s). Pokud v úzkopásmové síti lze realizovat pouze malý počet hlasových kanálů a přenos dat s velmi nízkou bitovou rychlostí, širokopásmové PLC nabízí více hlasových spojení, vysokorychlostní přenos dat, přenos videa a zároveň i služby úzkopásmového PLC systému.

Realizace širokopásmových komunikačních služeb prostřednictvím energetických rozvodných sítí nabízí možnost vytvořit nákladově efektivní telekomunikační síť, bez nutnosti položení nových kabelů. Nicméně, elektrické rozvodné sítě nejsou určeny pro přenos informací a z toho vyplývají některé omezující faktory při používání širokopásmového PLC. Například to, že vzdálenosti, které mohou být zahrnuty, stejně jako rychlost přenosu dat, který může být realizován pomocí PLC systémů, jsou omezené.

Dalším velmi důležitým aspektem pro použití širokopásmového PLC je elektromagnetická kompatibilita (EMC). Pro realizaci širokopásmového PLC je potřeba výrazně širší frekvenční spektrum (až 30MHz), než je stanoveno v normě CENELEC.

PLC síť funguje jako anténa, stává se zdrojem šumu pro jiné komunikační systémy pracující ve stejném kmitočtovém rozsahu (např. různé rozhlasové služby) [1]. Z tohoto

důvodu musejí širokopásmové PLC systémy pracovat s omezeným výkonem signálu, což však snižuje jejich výkonnost (rychlost přenosu dat, vzdálenosti).

2.4.1 Současné využití širokopásmového PLC

Aktuální širokopásmové PLC systémy, jsou schopny poskytnout rychlost 2 Mbit/s v oblastech, které obsahují střední a nízké napětí [1]. V domácnostech v tzv. in-home systémech dosahují rychlosti až 12 Mbit/s. Někteří výrobci již vyvinuly zařízení, které poskytují mnohem vyšší rychlosti přenosu dat (přes 100 Mbit/s).

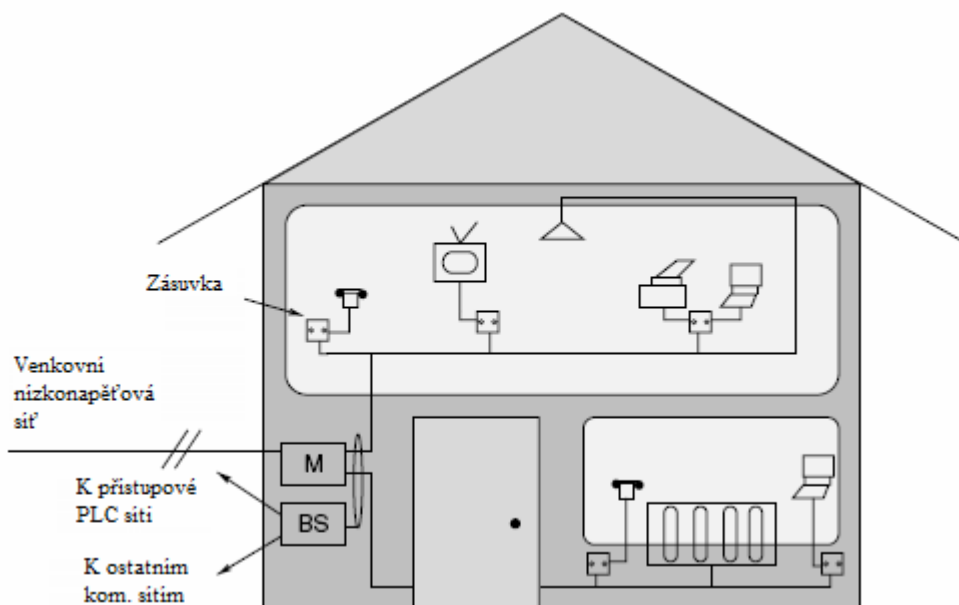
Středně-napěťová PLC technologie se obvykle používá pro realizaci point-to-point spoje a pro překlenutí vzdálenosti až několika stovek metrů. Typické oblasti použití těchto systémů jsou spojení místních oblastí sítí (LAN), síť mezi budovami nebo v rámci areálu, propojení antén a základnových stanic celulárních komunikačních systémů k jejich páteřní síti.

Nízko-napěťová PLC technologie je použita pro realizaci tzv. "poslední míle" telekomunikačních přístupových sítí. Vzhledem k významu telekomunikačního přístupu, současný rozvoj širokopásmových PLC technologií je převážně zaměřen na aplikace v přístupových sítích včetně in-home systémů.

2.5 Využití PLC v domácnostech (in-home)

In-home PLC je využití vnitřní elektrické infrastruktury jako přenosového média[3]. To umožňuje realizaci PLC místních sítí v domech. Můžeme tak propojit stávající zařízení v soukromých domech. Telefony, počítače, tiskárny, video zařízení, apod. Podobně mohou být malé kanceláře vybaveny PLC systémy LAN. V obou případech se takto vyhneme položení nových komunikačních kabelů a vysokým nákladům.

Dnes se automatizace stává stále více a více populární a to nejen pro její použití v průmyslové a obchodní sféře a ve velkých budovách, ale také v domácnostech. Automatizační systémy pro poskytnutí služeb, jako jsou zabezpečovací zařízení, řízení vytápění, automatické ovládání světla, musejí připojit velké množství koncových zařízení. Senzory, kamery, elektromotory, světla, a tak dále.



Obr. 2.4: Struktura domácí PLC sítě, BS-základnová stanice, M- elektroměr

In-home PLC technologie se zdá být rozumným řešením pro realizaci takovýchto sítí s velkým počtem koncových zařízení. Zejména ve starších domech a budovách, které nemají vhodnou infrastrukturu pro interní komunikaci [3]. V podstatě se struktura in-home PLC sítí moc neliší od PLC systémů v nízkonapěťových sítích [1]. Používají se také základnové stanice s tím, že slouží pro kontrolu in-home sítě a umožňují připojení na venkovní síť. Všechna zařízení v in-home síti jsou propojena prostřednictvím PLC modemů. Různá zařízení mohou být připojeny k in-home síti kdekoliv, kde je k dispozici zásuvka.

In-home PLC síť může existovat buď jako nezávislá síť, která pokrývá pouze jeden dům nebo budovu, nebo může sloužit pro vzdálenou kontrolu. To je velmi pohodlné při využití různých automatizačních funkcí (např. zabezpečení, řízení spotřeby energie atd.).

Existují i jiné nákladově efektivní komunikační systémy pro realizaci širokopásmové domácí sítě. Wireless LAN (WLAN) systémy jsou již delší dobu na trhu dobře dostupné. Poskytují přenosové rychlosti více než 20 Mbit/s. Na rozdíl od in-home PLC, WLAN umožňuje mobilní použití telekomunikačních služeb. Vlastní domácí Wi-Fi síť využitelnou např. pro notebooky nebo osobní počítače s příslušnou rozšiřující kartou. Momentálně jsou WLAN komponenty s výrazně lepším výkonem poměrně levnou záležitostí, což poněkud komplikuje pronikání in-home PLC technologie.

Tab. 2.1: Další služby umožňující širokopásmovou komunikaci

Zkratka	Jméno	Rychlost přenosu	Mód	Max. vzdálenost [km]	Počet párů vodičů
DSL	Digital subscriber line	160 kbit/s	Duplex	6	1
HDSL	High-data-rate DSL	1.544 Mbit/s	Duplex	4	2 nebo 3
		2.048 Mbit/s			
SDSL	Single-line DSL	1.544 Mbit/s	Duplex	3	1
		2.048 Mbit/s			
ADSL	Asymmetric DSL	1.5 to 6.144 Mbit/s	Downlink	4 až 6	1
		16 to 640 kbit/s	Uplink		
RADSL	Rate-adaptive DSL	Adaptive to ADSL rates	Downlink	4 až 6	1
			Uplink		
VDSL	Very-high-datarate DSL	13 to 52 Mbit/s	Downlink	0,3 až 1,5	1
		1.5 to 2.3 Mbit/s	Uplink		
(A)DSL Lite (nebo UADSL)	ADSL Lite nebo Univerzální ADSL	1.5 Mbit/s	Downlink	6	1
		512 kbit/s	Uplink		

3. Specifikace PLC

3.1 Standardizace

Komunikace po elektrické napájecí síti je specifikována v evropské normě CENELEC EN 50065. Poskytuje frekvenční spektrum 9 až 140 kHz pro komunikace přes rozvody elektrické energie. Norma CENELEC výrazně liší od americké a japonské normy, které určují frekvenční rozsah až 500 kHz pro použití PLC služeb.

Tab. 3.1.: Komunikační pásma dle normy CENELEC

Pásmo	Frekvenční rozsah [kHz]	Maximální přenosová amplituda [V]	Určení
A	9 – 95	10	Podpůrné služby
B	95 – 125	1,2	Domácnosti
C	125 - 140	1,2	Domácnosti

CENELEC norma umožňuje rychlost přenosu dat až několik tisíc bitů za sekundu, což však postačuje pouze pro některé měřicí funkce (sledování zatížení elektrické sítě, dálkový odečet, atd.), přenos dat s velmi nízkou bitovou rychlostí, realizace několika kanálů pro přenos hlasu. Nicméně pro použití v moderních telekomunikačních sítích musí PLC systémy poskytovat mnohem vyšší rychlost přenosu dat (přes 2Mbit/s) [1]. Pouze v tomto případě budou PLC sítě schopny konkurovat ostatním komunikačním technologiím. Pro realizaci vyšších přenosových rychlostí musí PLC systémy pracovat v širším spektru (až do 30 MHz).

V současné době existuje několik subjektů, které se pokoušejí vytvořit standardizaci širokopásmových PLC sítí. Jsou to například následující:

- PLCforum , což je mezinárodní organizace s cílem celosvětově sjednotit a reprezentovat zájmy jednotlivých společností zabývajících se PLC. V současné době má PLCforum více než 50 členů. Jsou jimi výrobci, organizace, dodavatelé, poskytovatelé síťových služeb, výzkumné organizace a tak dále. PLCforum je uspořádáno do čtyř pracovních skupin: Technologie, Regulace, Marketing a In-home.
- HomePlug Powerline Alliance – zde jsou sdruženy neziskové organizace. Cílem je poskytovat informace o možnostech vysokorychlostního připojení pomocí PLC. Soustředí se hlavně na řešení in-home PLC sítí.

Normalizační činnosti v oblasti širokopásmových PLC technologie jsou také zahrnuty v práci Evropského institutu pro normalizaci v telekomunikacích (ETSI) a CENELEC.

3.2 Elektromagnetická kompatibilita

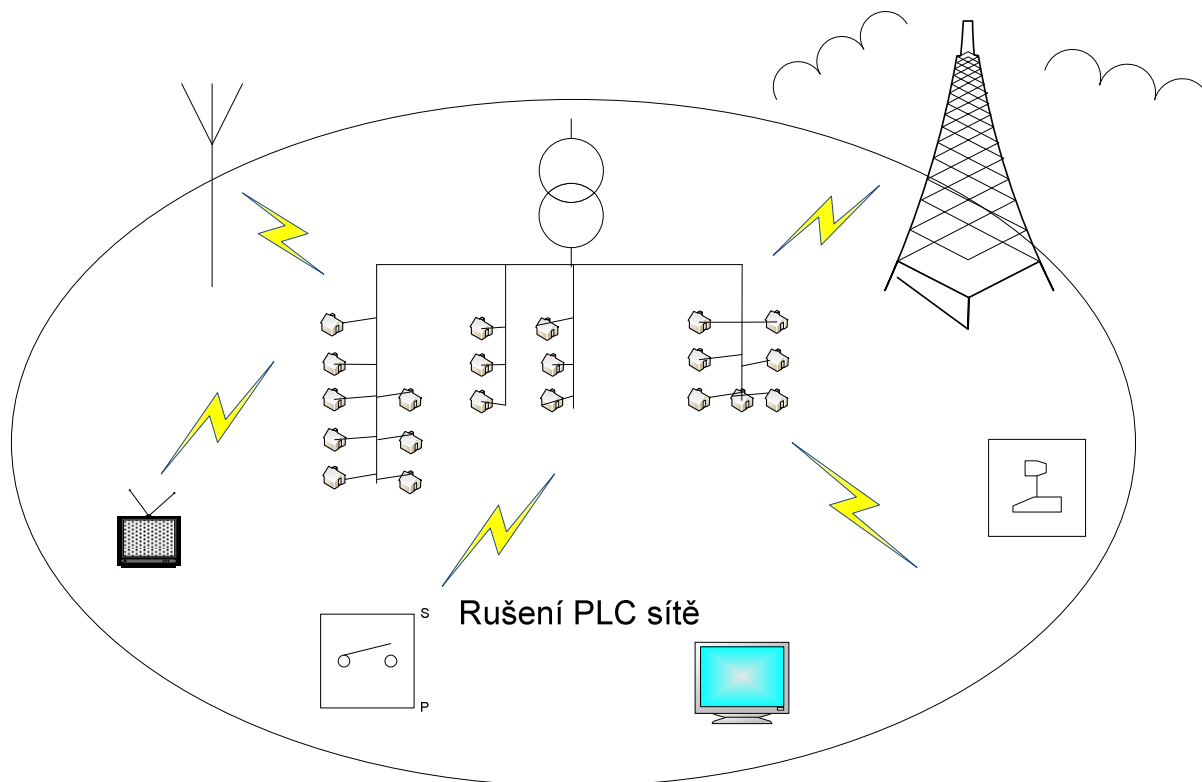
Používání nízkonapěťové rozvodné sítě jako přenosového média pro přístup k PLC systémům z ní činí anténu, která produkuje elektromagnetické záření. PLC přístupové sítě využívají frekvenční spektrum až do 30 MHz [5]. Tento frekvenční rozsah je však vyhrazen také pro různé rozhlasové služby, které tak mohou být tímto rušeny.

V první řadě to jsou různé krátkovlnné rozhlasové služby, jako jsou amatérská rádia, různé veřejné služby, vojenské a dokonce i velmi citlivé oblasti, jako je např. řízení letového provozu [1]. Regulační orgány určují limity pro elektromagnetické emise, které jsou dovolené při provozování systémů PLC v určitém kmitočtovém pásmu.

Jsou to: v Evropě CENELEC,ETSI,CISPR, německá směrnice NB30, která definuje limity záření pro systémy pracující v kmitočtovém pásmu do 30 MHz, v USA Federální komunikační komise. Následující dvě řešení jsou navržena pro specifikaci kmitočtových pásem, která mají být používána pro PLC:

- Komínový přístup: celkové frekvenční spektrum, které bude použito hlavně pro PLC bude přibližně 7.5 MHz v kmitočtovém rozsahu mezi 1 a 30MHz. Nicméně, spektrum není poskytováno jen pro PLC. Proto PLC musí působit v rámci stanovených limitů záření.
- Všeobecné radiační omezení: v celém spektru (pod 30 MHz), je maximální radiační pole omezeno pro všechny kabelové telekomunikační služby (včetně DSL, CATV a PLC).

V obou případech, PLC systémy musejí splnit velice nízké hodnoty, pokud jde o elektromagnetické emise, a proto pracují s omezeným výkonem signálu. Tento problém je větší, pokud použité vedení není stíněné ani s kroucenými páry vodičů.



Obr. 3.1: Rušivé vlivy v PLC síti

Vzhledem k omezenému výkonu signálu, jsou PLC sítě citlivější na narušení a nejsou schopny překlenout větší vzdálenosti se současným zajištěním dostatečné přenosové rychlosti [1]. Rušení PLC způsobují jiné služby, jako např. krátkovlnné rádio apod., pracující v kmitočtovém pásmu do 30MHz .

Existují také poruchy pocházející ze samotné PLC sítě. Těžké stroje, jako elektromotory, které jsou připojeny k rozvodné síti. Nebo televize a počítačové monitory umístěné v blízkosti PLC sítě, jakož i rušení vznikající impulzy způsobenými zapnutím nebo vypnutím spínacích zařízení, rušení od kompenzačních zařízení případně od frekvenčních měničů. Poruchy mohou být způsobeny také sousedícími PLC sítěmi.

Tab. 3.2.: Možné zdroje rušení PLC a jejich pásma

Třída	Služby	Pásmo [MHz]
Rozhlas	Středně a krátkovlnné vysílání	1.3–1.6; 3.9–4.0; 5.9–6.0, 6.0–6.2; 7.1–7.3; 7.3–7.35; 9.4–9.5; 9.5–9.9; 13.5–13.6; 13.6–13.8; 15.1–15.6; 25.6–26.1
Námořní komunikace	Taktické / strategické námořní vysílání Námořní vysílačky S5.90 Nouzová a bezpečnostní komunikace	1.6–1.8; 2.04–2.16; 2.3–2.5; 2.62–2.65; 2.65–2.8; 3.2–3.4; 4.0–4.4; 6.2–6.5; 8.1–8.8; 12.2–13.2; 16.3–17.4; 18.7–18.9; 22.0–22.8; 25.0–25.21
	Námořní rozhlasová komunikace	1.6–1.8
	Námořní DGPS	1.8–2.0; 2.0–2.02
Radioamatéři	Datamode, fax, telefon, atd.	1.81–1.85; 3.5–3.8; 7.0–7.1; 10.1–10.15; 14.0–14.2; 14.25–14.35; 18.0–18.16; 21.0–21.4; 24.8–24.9; 28.0–29.7
Vojenské	Vzdálená komunikace NATO a UK	2.0–2.02; 2.02–2.04; 2.3–2.5
Letectvo	Letectvo	2.8–3.0; 3.02–3.15; 3.4–3.5; 3.8–3.9; 4.4–4.65; 5.4–5.68; 6.6–6.7; 8.81–8.96; 10.0–10.1; 10.1–11.1; 21.0–22.0; 23.0–23.2
Radioastronomie	Radioastronomie	13.3–13.4; 25.55–25.67

3.2.1 Chyby přenosu

Pro řešení chyb přenosu mohou být u PLC využity dobře známé mechanismy [1], (např. ARQ a FEC), dopředná korekce chyb (Forward error correction - FEC) umí obnovit původní obsah z údajů datové jednotky bez ohledu na rušivé vlivy. Nicméně použití FEC spotřebuje další část přenosové kapacity, protože ji potřebuje pro data sloužící k opravě chyb. Využití automatického opakování požadavku (Automatic repeat request - ARQ), které zajišťuje opětovný přenos dat z vadných jednotek, spotřebovává část přenosové kapacity a také zavádí další zpoždění do přenosu.

ARQ a FEC jsou z důvodu rušení v PLC síti potřebné [1]. Z důvodu elektromagnetické kompatibility je rychlost přenosu také omezena. A tak aktuálně nabízené

PLC systémy mají maximální rychlost přenosu dat po síti 2 až 4 Mbit/s. PLC síť tedy musí pracovat s nízkou přenosovou rychlostí sniženou o nutnost použití korekčních mechanismů, navíc PLC přístupové síť připojují velký počet uživatelů, kteří využívají stejné přenosové médium, což také snižuje rychlost přenosu dat.

3.3 Charakter přenosového kanálu

Vedení elektrické sítě je jako přenosové médium svými vlastnostmi velice nestabilní. Různé spotřebiče, které jsou k této napájecí síti připojeny, způsobují proměnlivost impedance. Jelikož tyto sítě byly navrženy pro distribuci energie, a nikoli pro přenos dat, mají nepříznivé vlastnosti jako např. značný šum a vysoký útlum. Vzhledem k tomu, že tyto vlastnosti jsou časově proměnné a šíření elektrické energie probíhá vícecestně, dochází ke vzniku různých odrazů a impedančních změn [1].

Impedance elektrického vedení je velmi závislá na frekvenci a na typu a umístění vodičů. Pohybuje se v rozmezí od několika ohmů až po jednotky k Ω . Impedance je samozřejmě nejvíce závislá na charakteristické impedanci kabelů, na topologii jednotlivých částí sítě a také na charakteru připojené zátěže. Statistická analýza některých měření ukázala, že téměř v celém spektru se průměrná hodnota impedance pohybuje mezi 100 a 150 Ω [1]. Nicméně, pod 2 MHz, mají tyto hodnoty tendenci klesat někde mezi 30 a 100 Ω . Vzhledem k těmto změnám impedance a složitému vstupnímu i výstupnímu přizpůsobení se vedení, dochází během přenosu v PLC síti k častým ztrátám dat.

3.4 Základní prvky PLC sítě

Základní PLC síťové prvky jsou nezbytné pro realizaci komunikace přes elektrické rozvodné síť. Hlavním úkolem základních prvků je signalizace, příprava a konverze signálu pro jeho přenos přes rozvod elektrické energie, příjem signálu. V každé přístupové PLC síti musí být tyto dvě zařízení:

- PLC modem
- PLC základnová / řídící stanice.

PLC modem implementuje všechny funkce fyzické vrstvy, včetně modulace a kódování. Propojuje standardní komunikační zařízení, která jsou používána uživatelem, s elektrickou sítí. Ze strany uživatele může být připojení k PLC modemu realizováno pomocí různých standardních rozhraní (např. Ethernet, USB). Na druhé straně je PLC modem

připojen k distribuční soustavě za použití zvláštní spojovací metody, která umožňuje odesílání datových signálů do elektrické sítě a zároveň i jejich příjem.

Toto spojení musí zajistit bezpečné galvanické oddělení. Působí jako vysoko-útlumový filtr, který oddělí komunikační signály (nad 9 kHz) od elektrického proudu (50 nebo 60 Hz) [5]. Datový signál je namodulován na frekvenci jednotek až desítek MHz a následně odeslán do elektrické přenosové sítě. PLC modemy tedy takovéto vysokofrekvenčně modulované signály převádějí do sítě s 50Hz a zpět.

Chceme-li snížit elektromagnetické emise, musí být spoje v přístupových oblastech realizovány mezi dvěma fázemi a ve vnitřních prostorách mezi jedním fázovým vodičem a nulovacím vodičem.

Základnové PLC stanice (řídící stanice) zajišťují přístup k páteřní síti. Tzn., vytvářejí propojení komunikační sítě s rozvodnou sítí. Nicméně, základnová stanice neslouží pouze k připojení jednotlivých účastníků, ale umožňuje komunikaci pomocí více typů připojení. Například xDSL, WLAN pro bezdrátové propojení, a tak dále. Obvykle základnová stanice řídí provoz v určité PLC přístupové síti. Ve zvláštních případech však může každý PLC modem převzít kontrolu nad síťovým provozem a nad realizací spojení s páteřní sítí.

4. Měření

Měření systémů PLC bylo zaměřeno na zjištění základních parametrů přenosu, jako jsou: přenosová rychlost (na fyzické i uživatelské úrovni), doba odezvy (ping), vliv rušení na přenosový kanál. Měření proběhlo na zařízeních typu HomePlug AirLive, Model: HP-2000E, které nabízí přenosovou rychlost až 85 Mbit/s, a na zařízeních Defidev/DS2, Typ: AGW-100, jenž poskytuje přenosovou rychlost až 200 Mbit/s.

4.1 Zařízení AirLive HP-2000E

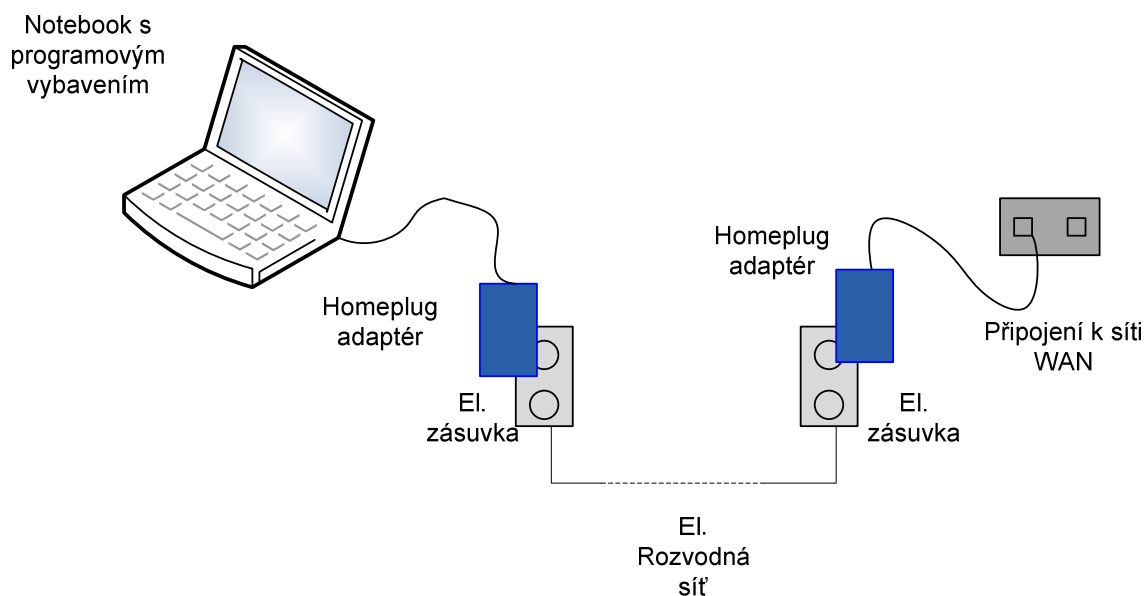
4.1.1 Specifikace zařízení

Tab. 4.1: Specifikace zařízení AirLive HP-2000E [6]

Vlastnosti	Jednoduché použití, solehlivější než Wi-Fi, vhovuje všem domácím rozvodům a je kompatibilní s ostatními HomePlug zařízeními, podluzuje dosah bezdrátových zařízení, rychlejší než Wi-Fi standart 802.11b, pracuje s 110, 220 i 240 volty
Modulace	(Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) (Differential Quadrature Phase Shift Keying - DQPSK) (Differential Binary Phase Shift Keying – DBPSK)
Frekvenční rozsah	4.3 MHz - 20.9 MHz
Standarty	IEEE802.3 10Base-T Ethernet (10 Mbps) IEEE802.3u Fast Ethernet (100 Mbps) HomePlug 1.0
Protokoly	Forward Error Correction (FEC) Automatic Channel Adaptation
Velikost	98 mm x 63 mm x 29 mm
Podpora OS	Windows 98/ME/2000/XP
Hmotnost	120 g

4.1.2 Měření zařízení AirLive HP-2000E

Testovanými parametry zde jsou: doba odezvy brány (147.229.148.1), doba odezvy internetové adresy www.seznam.cz, přenosová rychlost na fyzické vrstvě, propustnost přenosové cesty (rovněž zjišťováno oproti bráně a www.seznam.cz), test odezvy a uživatelské rychlosti na portálu www.dsl.cz. Přenosová rychlost na fyzické vrstvě byla zjišťována pomocí programu LevelOne PLI-2020, odezva a propustnost byly měřeny programem NetDoppler. Zapojení zařízení bylo následující:



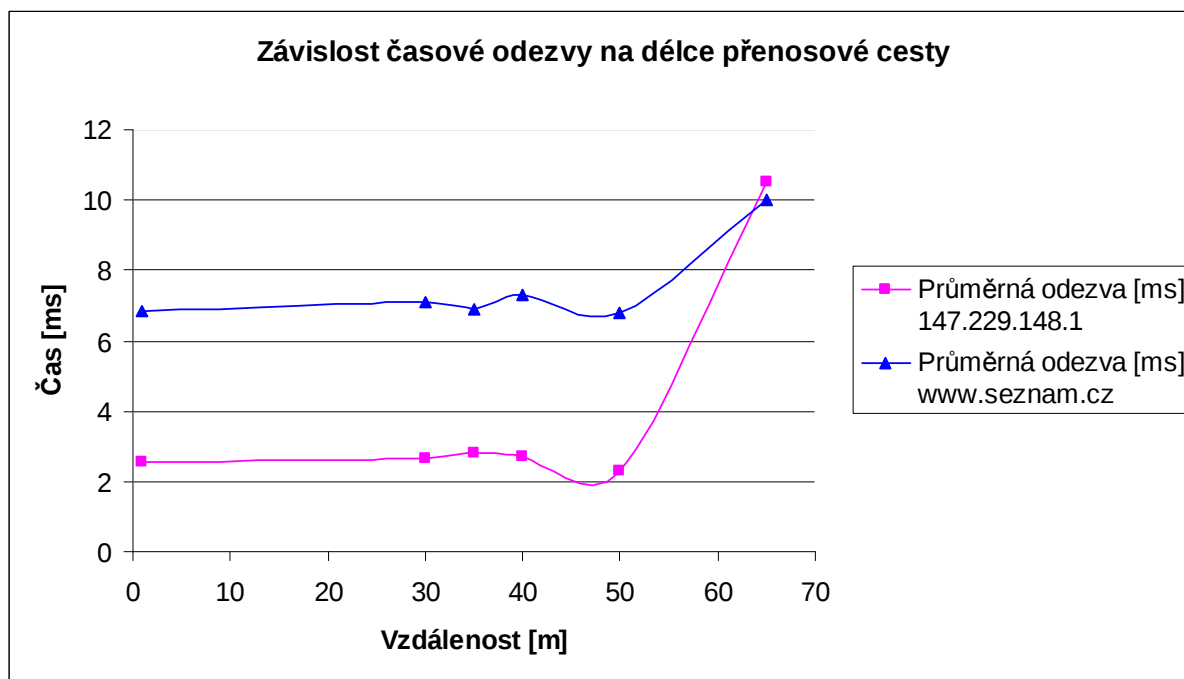
Obr. 4.1: Zapojení adaptérů typu HomePlug

Při jednotlivých měřeních bylo zapojení vždy shodné, měnila se vzdálenost zařízení připojených do elektrické rozvodné sítě. Vzdálenosti byly postupně 1,30,35,40,50,65 metrů. Vzdálenosti odpovídají možnostem připojit se k el. síti.

4.1.3 Měření doby odezvy

Tab. 4.2: Průměrná odezva v závislosti na vzdálenosti

Vzdálenost [m]	Průměrná odezva [ms]	
	147.229.148.1	www.seznam.cz
1	2,529	6,818
30	2,65	7,107
35	2,793	6,9
40	2,701	7,306
50	2,306	6,808
65	10,503	9,986

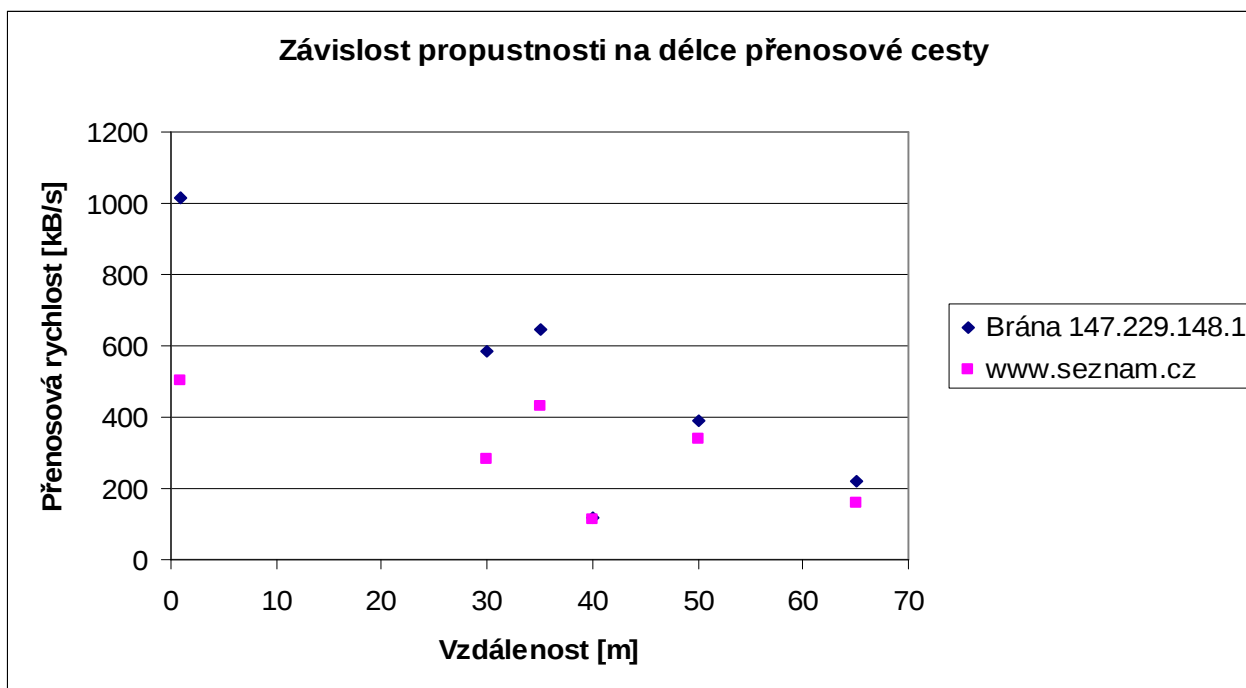


Obr. 4.2: Graf závislosti časové odezvy na délce přenosové cesty u systému HomePlug

4.1.4 Propustnost systému HomePlug AirLive HP-2000E

Tab. 4.3: Propustnost v závislosti na vzdálenosti

Vzdálenost [m]	Průměrná propustnost [kB/s]	
	147.29.148.1	www.seznam.cz
1	1013,492	500,097
30	582,7	281,351
35	646,117	430,85
40	118,485	112,874
50	388,839	338,497
65	219,742	156,928

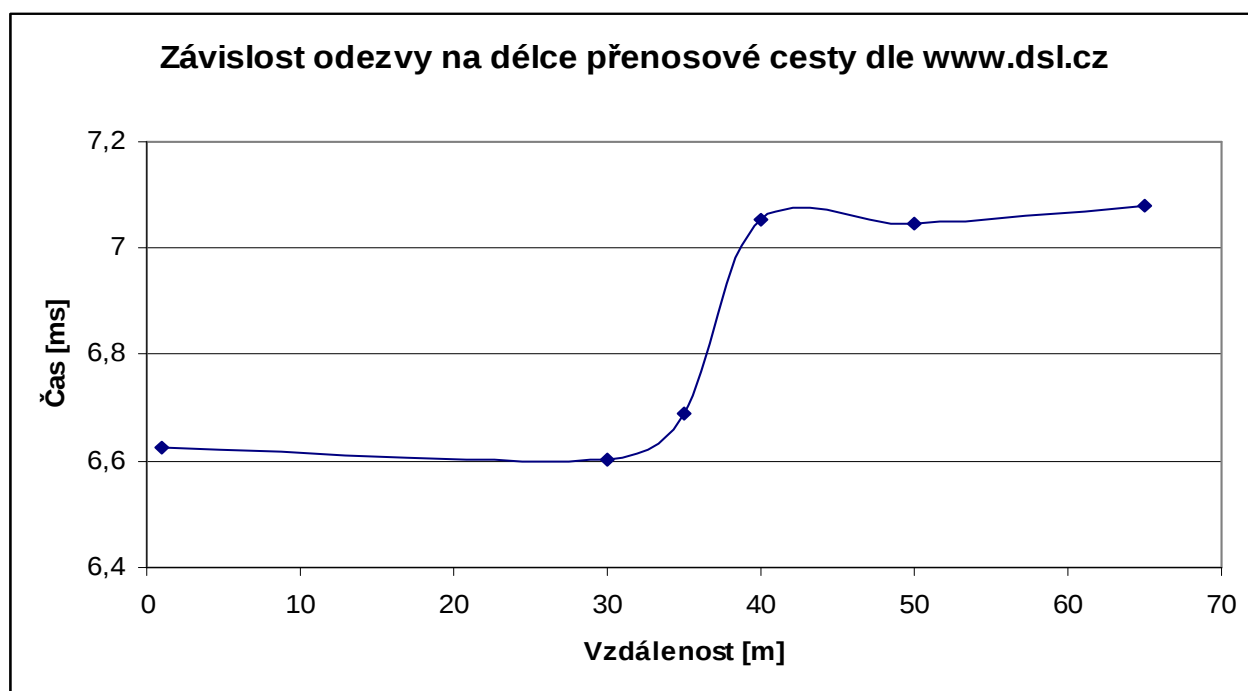


Obr. 4.3: Graf závislosti propustnosti na délce přenosové cesty u systému HomePlug

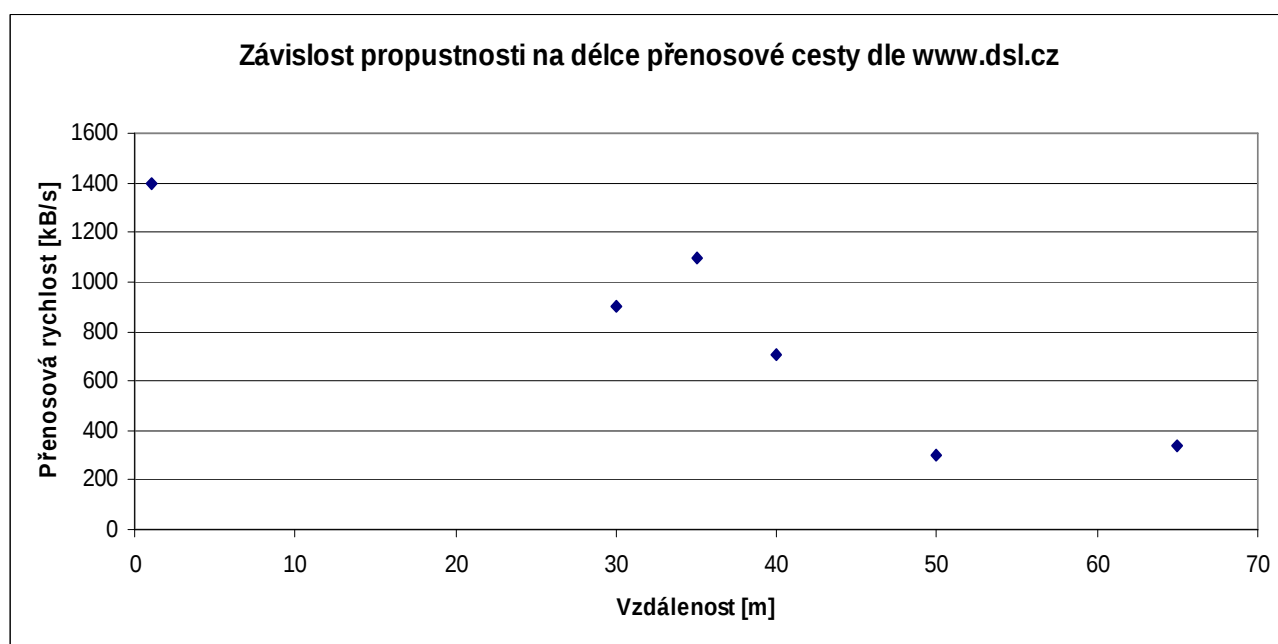
4.1.5 Parametry zjištěné pomocí portálu www.dsl.cz

Tab. 4.4: Odezva a propustnost dle www.dsl.cz

Vzdálenost [m]	Ping [ms]			Propustnost [kB/s]
	Minimální	Maximální	Průměrný	
1	6,403	6,879	6,627	1400
30	6,269	6,855	6,604	900
35	6,427	7,118	6,691	1100
40	6,865	7,366	7,054	702,4
50	6,93	7,154	7,047	301,6
65	6,865	7,579	7,08	337,8



Obr. 4.4: Graf závislosti odezvy na délce přenosové cesty dle www.dsl.cz

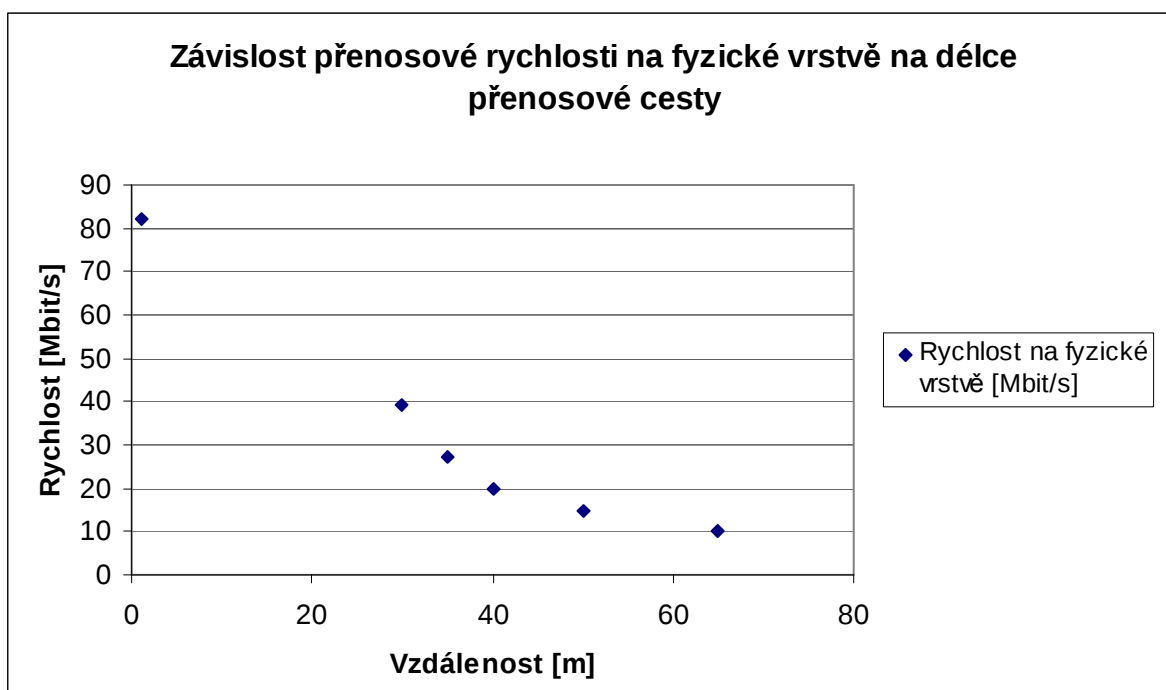


Obr. 4.5: Graf závislosti propustnosti na délce přenosové cesty dle www.dsl.cz

4.1.6 Rychlost na fyzické vrstvě

Tab. 4.5: Závislost rychlosti na fyzické vrstvě na délce přenosové cesty

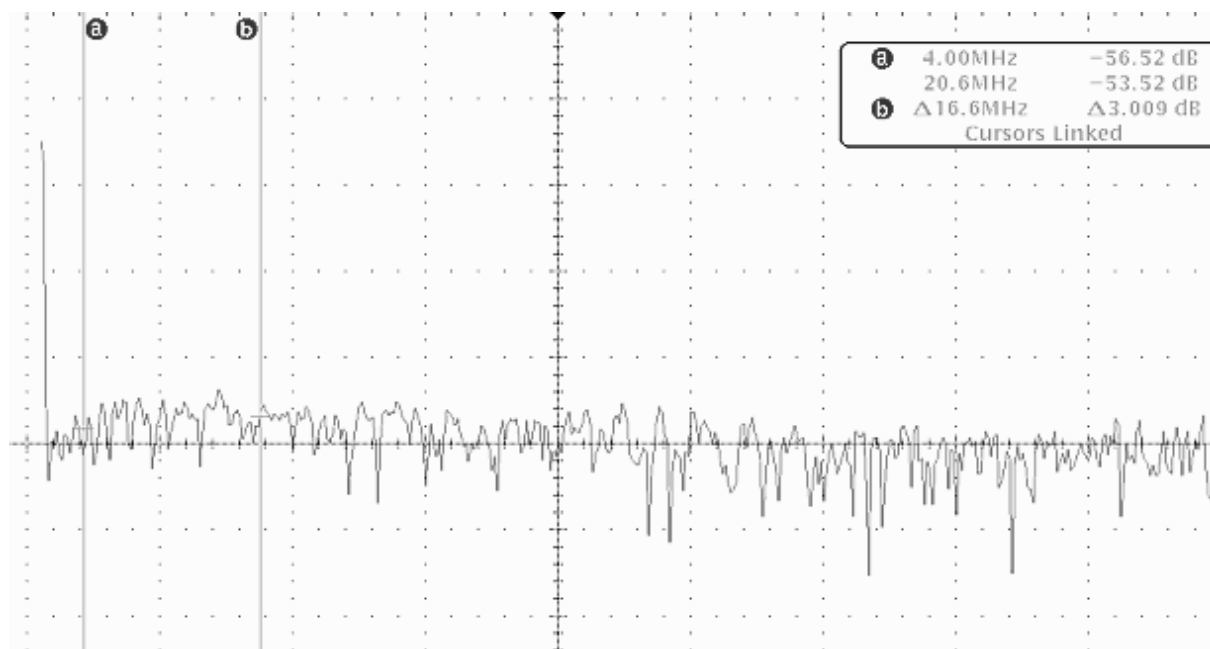
Vzdálenost [m]	Rychlost na fyzické vrstvě [Mbit/s]
1	82,12
30	39,27
35	27,19
40	19,79
50	14,62
65	10



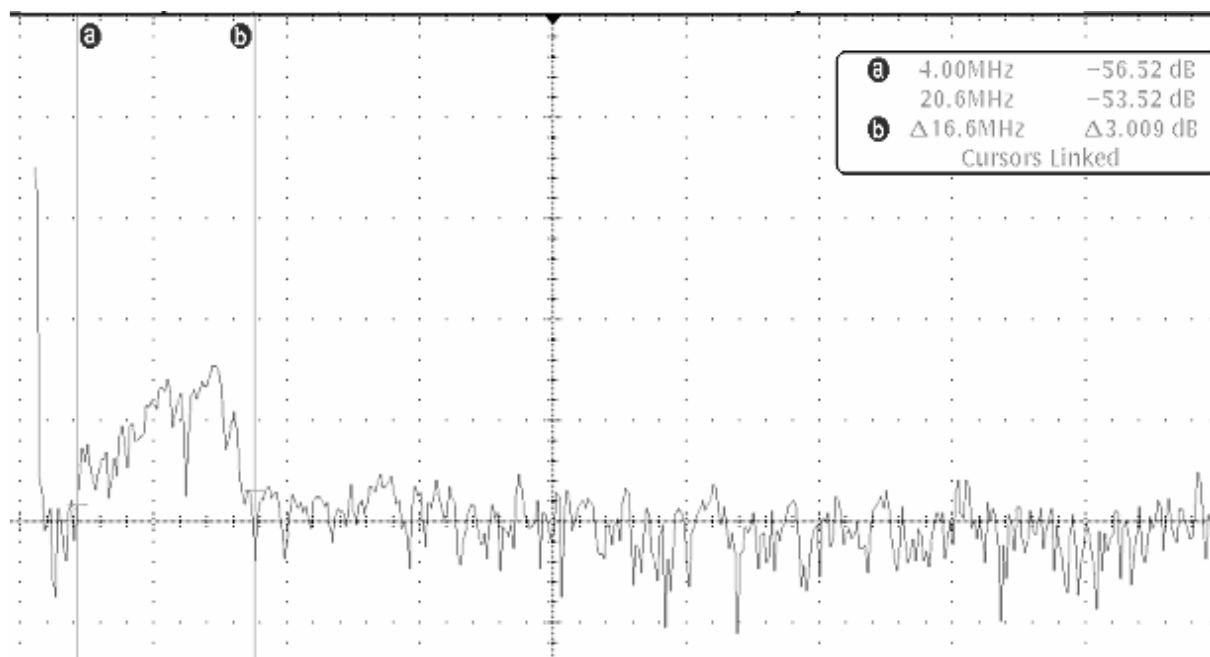
Obr. 4.6: Graf závislosti rychlosti na fyzické vrstvě na délce přenosové cesty systému HomePlug

4.1.7 Vlastnosti přenosového kanálu

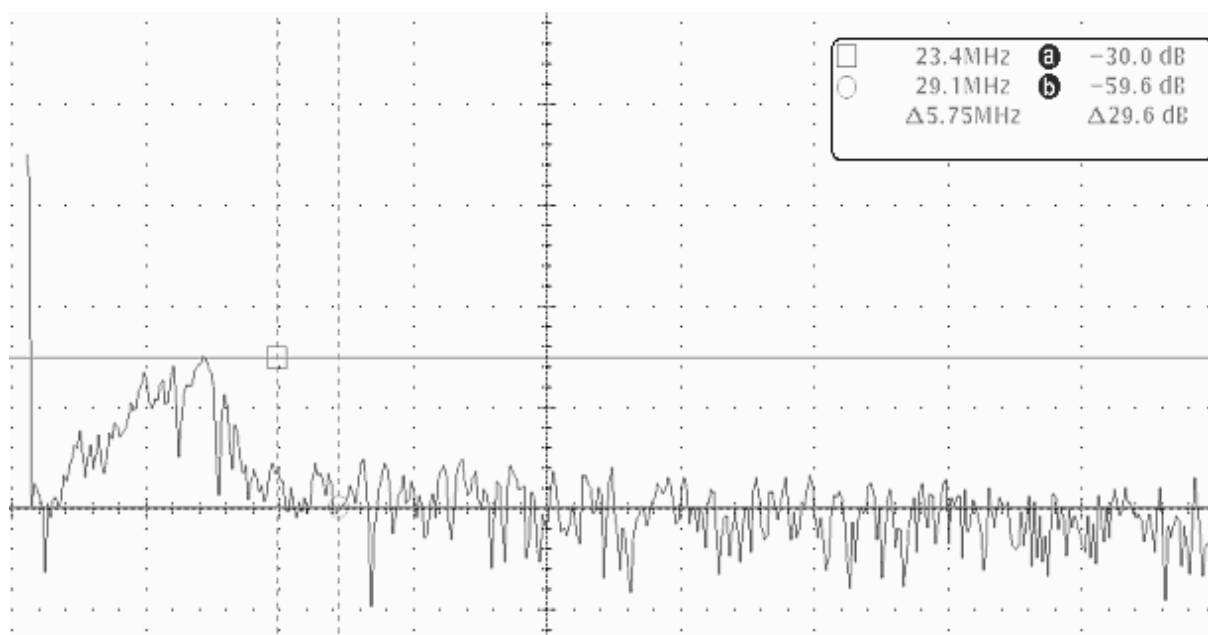
Následující průběhy byly získány pomocí osciloskopu připojeného přes vysokonapěťovou sondu do elektrické rozvodné sítě. Zobrazeno pomocí (Fast Fourier transform – FFT).



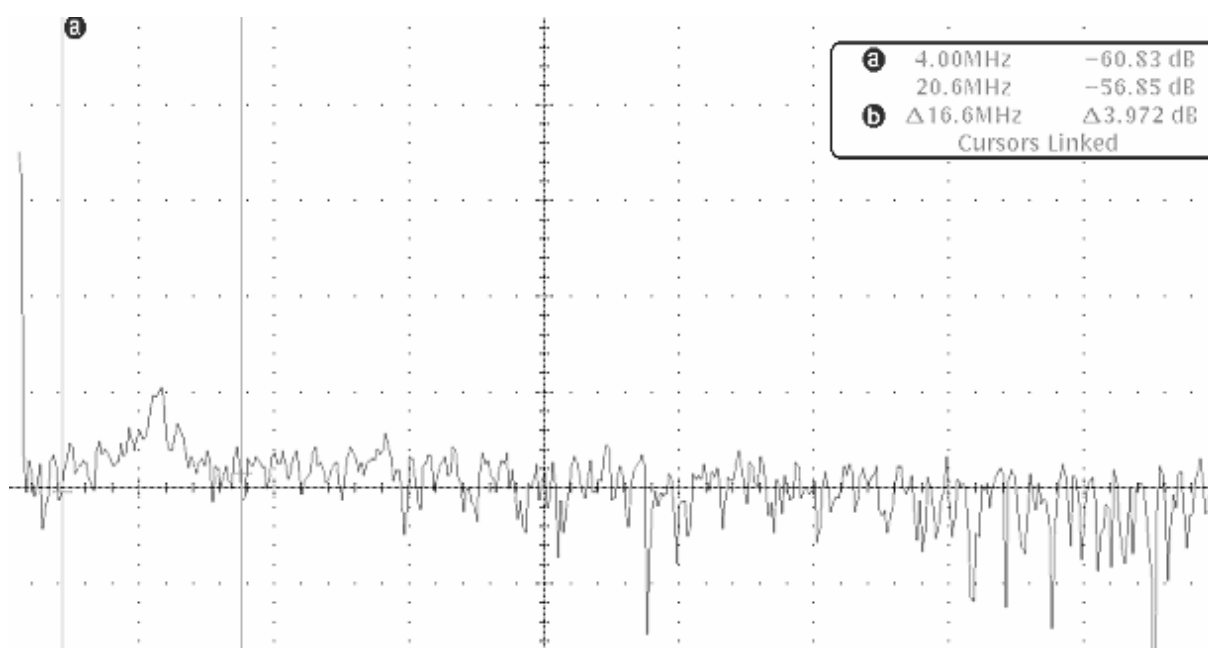
Obr.4.7: Spektrum signálů obsažených v el. rozvodné síti bez připojeného PLC zařízení



Obr.4.8: Spektrum signálů obsažených v el. rozvodné síti obsahující komunikaci pomocí PLC



Obr. 4.9: Průběh změřený ve vzdálenosti 1 metr od vysílací části



Obr. 4.10: Průběh získaný ve vzdálenosti 40 metrů od vysílací části

4.1.8 Závěry vyplývající z měření

Z naměřených hodnot a grafů vyplývá, že odezva je na délce přenosové cesty závislá jen minimálně. Avšak v maximální vzdálenosti dosažitelné pomocí zařízení AirLive, v našem případě se povedlo navázat spojení maximálně ve vzdálenosti asi 65 metrů, dochází ke značnému nárůstu doby odezvy. Ve špičkových hodnotách dosahoval ping až hodnoty 31 milisekund. To je stále vynikající hodnota, která je např. u systémů Wi-Fi naprosto běžná.

Dále je možné pozorovat, že přenosová rychlost rapidně klesá se vzdáleností. Maximální rychlosti je dosaženo jen při zapojení ve vzdálenosti několik metrů, což však neodpovídá praktickému využití systému. Ve vzdálenosti několika desítek metrů je rychlost připojení stále dostatečná pro běžné domácí využití.

Vliv připojených spotřebičů byl testován zapojením monitoru ViewSonic, příkon 50W, dále připojením televizoru, příkon 130 wattů. Zapojení těchto spotřebičů nemělo žádný viditelný vliv na chování PLC sítě, ani na zobrazeném spektru signálů nebyl zaznamenán žádný projev, který by prokazatelně souvisel s jejich připojením do sítě. Rušení v PLC síti tedy vzniká spíše od výkonnějších spotřebičů, případně motorů připojených do sítě.

4.2 Zařízení Defidev/DS2 AGW-100

4.2.1 Specifikace AGW-100 [7]

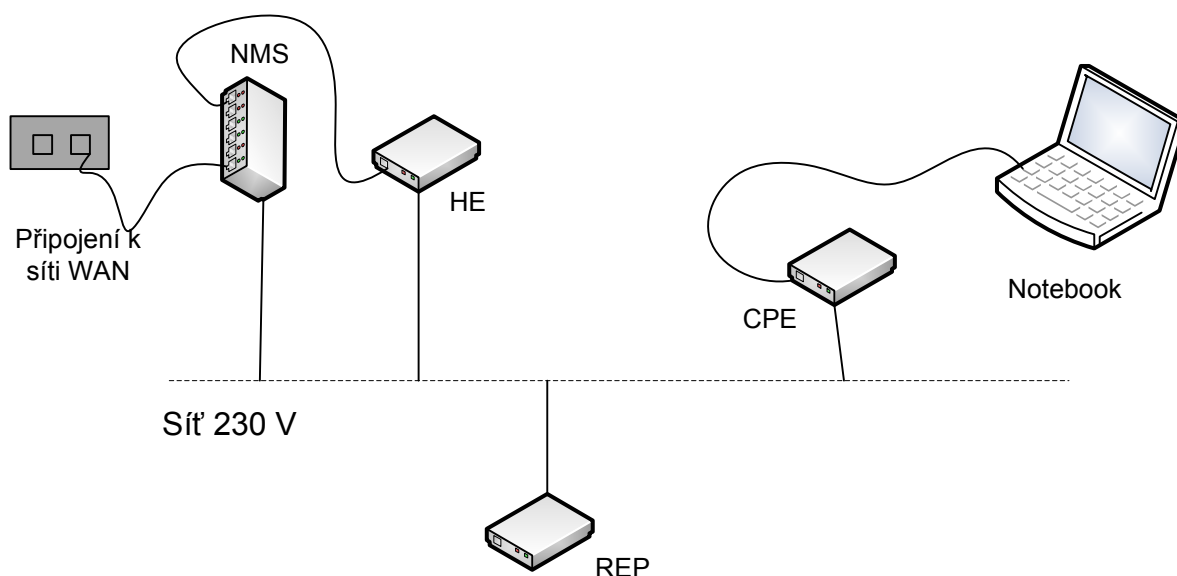
- (Access point – AP) pro IEEE 802.11g, router
- Defidev PLC Network Management System
- RJ-45 rozhraní pro ADSL/kabel/PLC modem
- Wi-Fi rozhraní
- 4x LAN, 1x WAN port
- Podporuje virtuální a globální IP adresu
- Podporuje SNMP
- Podporuje auto provisioning
- Součinnost s Cisco, Nortel & Alcatel soft switch

Tab. 4.6 Parametry systému AGW-100 [7]

CPU	Intel IXP420 / 266MHz
Paměti	16M flash, 64M SDRAM
Vstupní napětí	12 V =
Hmotnost	566 g
Rozměry	300 mm x 131 mm x 31 mm

4.2.2 Měření systému Defidev/DS2 AGW-100

Testované parametry jsou: doba odezvy brány (147.229.148.1), přenosová rychlost na fyzické a aplikační úrovni, poměr (Signal to noise ratio – SNR) z pohledu koncového zařízení (Customer Premises Equipment – CPE), poměr SNR dle programu DS2status. Odezva brány byla testována pomocí příkazu ping z příkazového řádku, poměr SNR byl zjišťován přes webové rozhraní řídicího prvku AGW-100 a pomocí programu DS2status. Rychlost na aplikační úrovni byla měřena opět přes webové rozhraní prvku AGW-100 a rychlost na fyzické vrstvě byla zjišťována pomocí programu DS2 PLC NETWORK – Free PHY Speed Monitor. Zapojení měřeného systému:



Obr. 4.11: PLC síť se zařízeními DS2

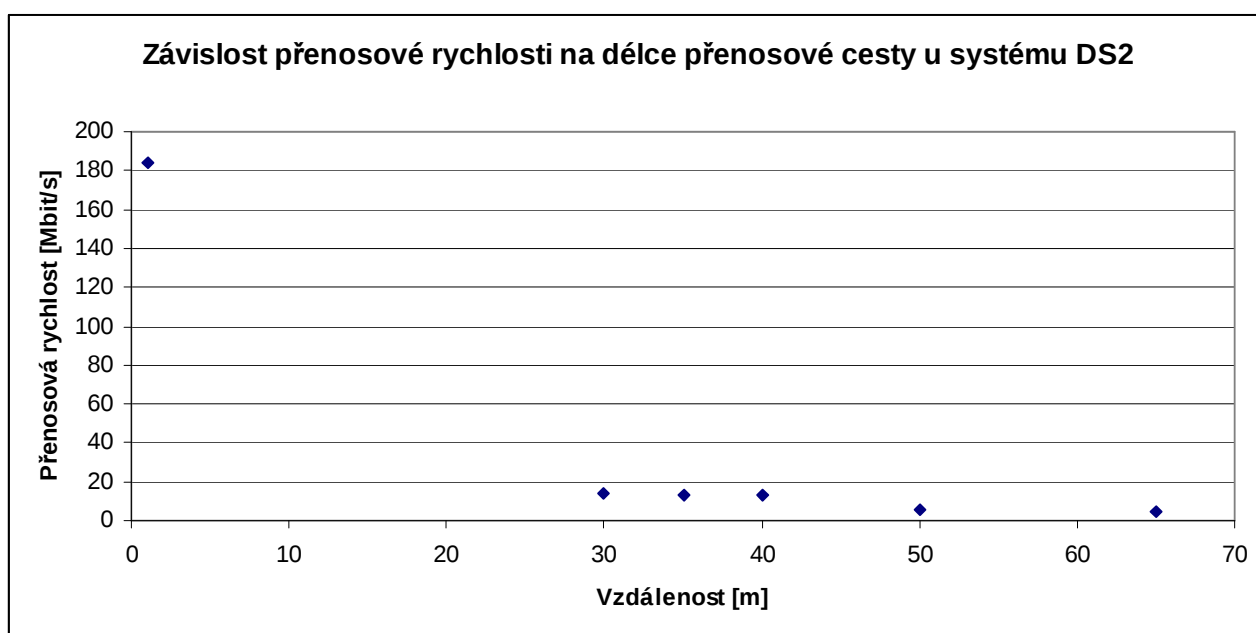
Prvky sítě: - NMS – Network management systém – systém pro konfiguraci a správu PLC sítě

- HE – Head-End – centrální zařízení
- REP – Repeater – opakovač
- CPE – Customer Premises Equipment – koncový modem

4.2.3 Změřené parametry systému DS2

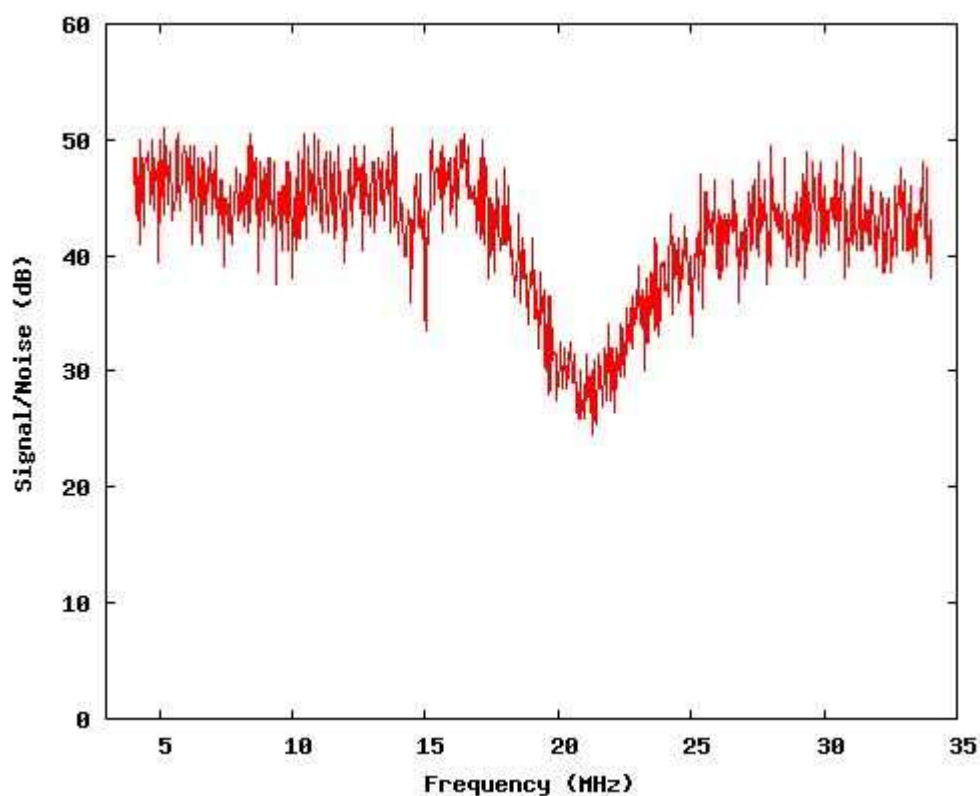
Tab. 4.7 Parametry systému DS2

Vzdálenost [m]	Ping na bránu 147.229.148.1 [ms]			Rychlost na fyzické vrstvě [Mbit/s]		Uživatelská rychlost [Mbit/s]
	Minimální	Maximální	Průměrný	Upload	Download	
1	6	10	8	183	185	184
30	7	10	9	18	12	14
35	7	10	8	14	12	13
40	7	9	8	182	183	13
50	7	9	8	15	14	6
65	7	10	8	16	11	5



Obr. 4.12: Graf závislosti přenosové rychlosti na délce přenosové cesty u systému DS2

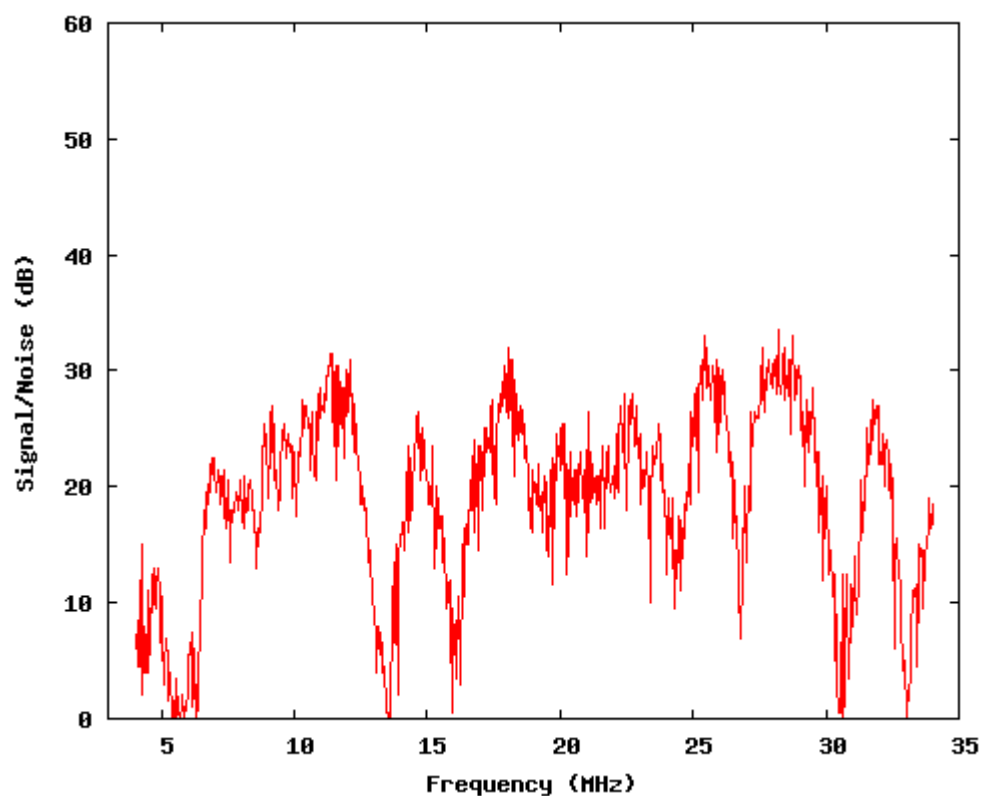
4.2.4 SNR



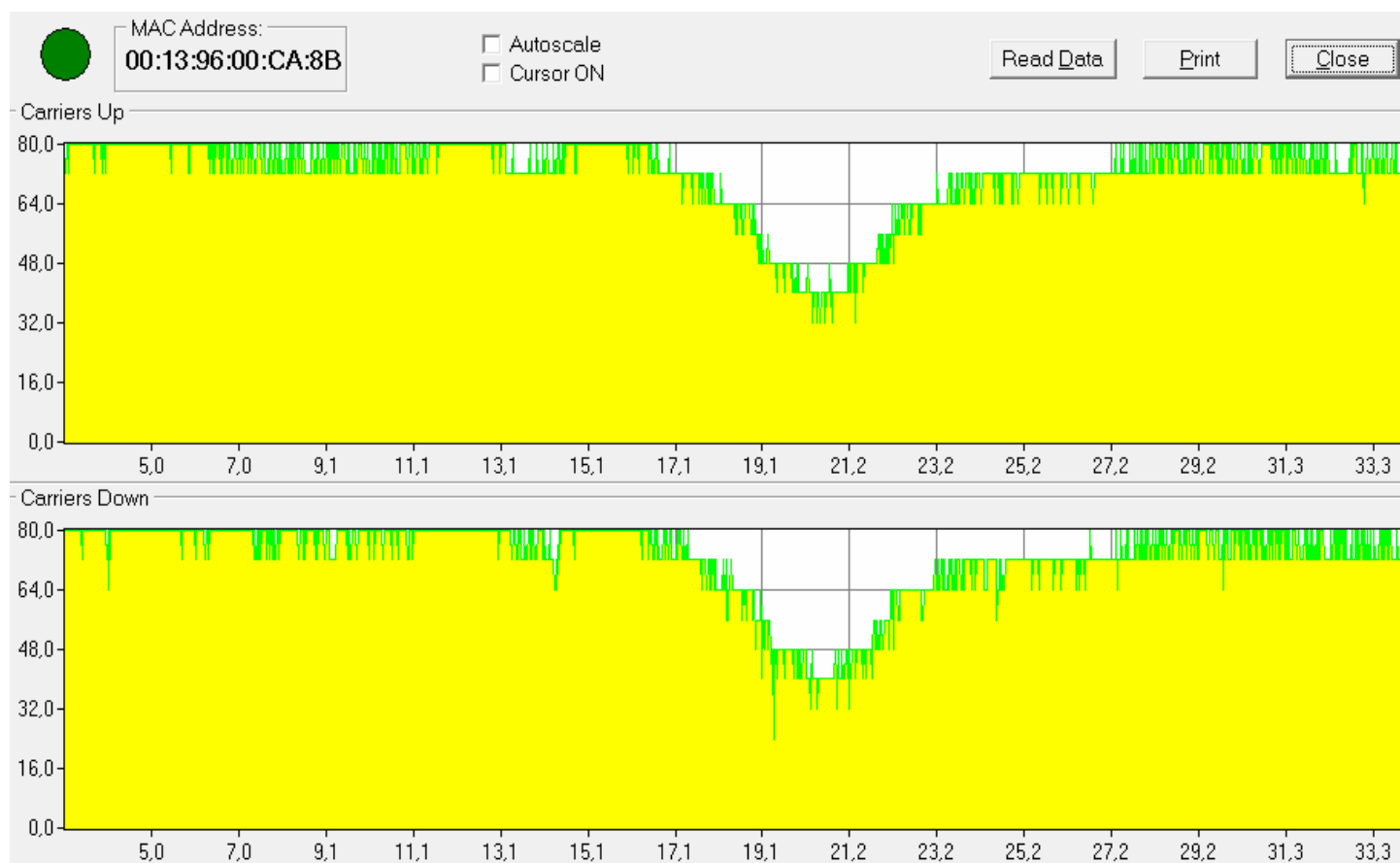
Obr. 4.13: Poměr SNR pro vzdálenost 1 metr



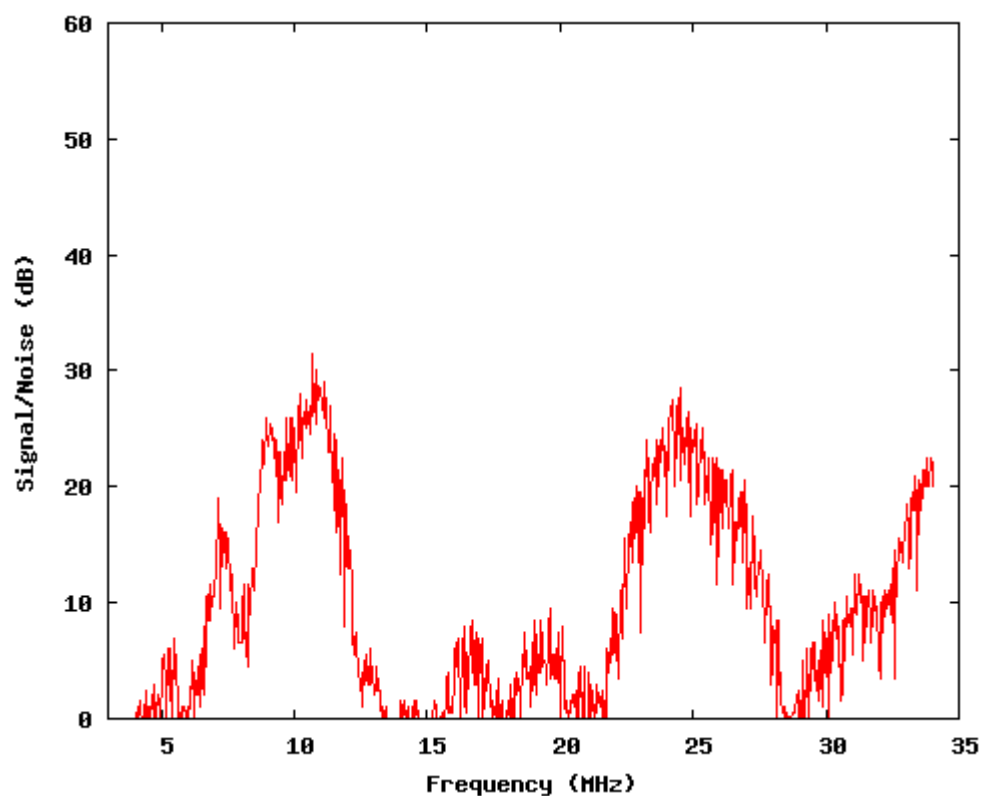
Obr. 4.14: Poměr SNR pro vzdálenost 1 metr získaný programem DS2status



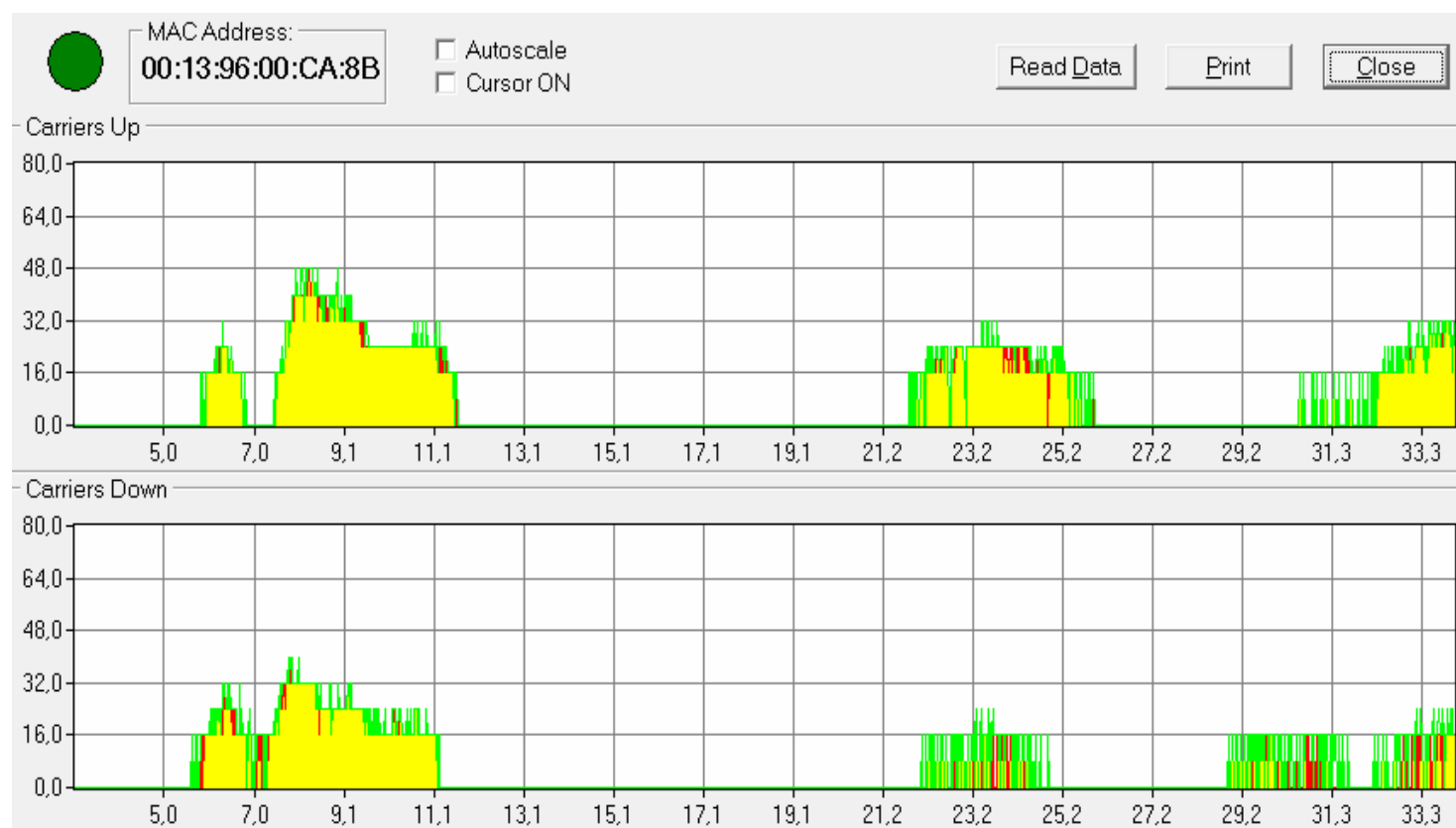
Obr. 4.15: Poměr SNR pro vzdálenost 30 metrů



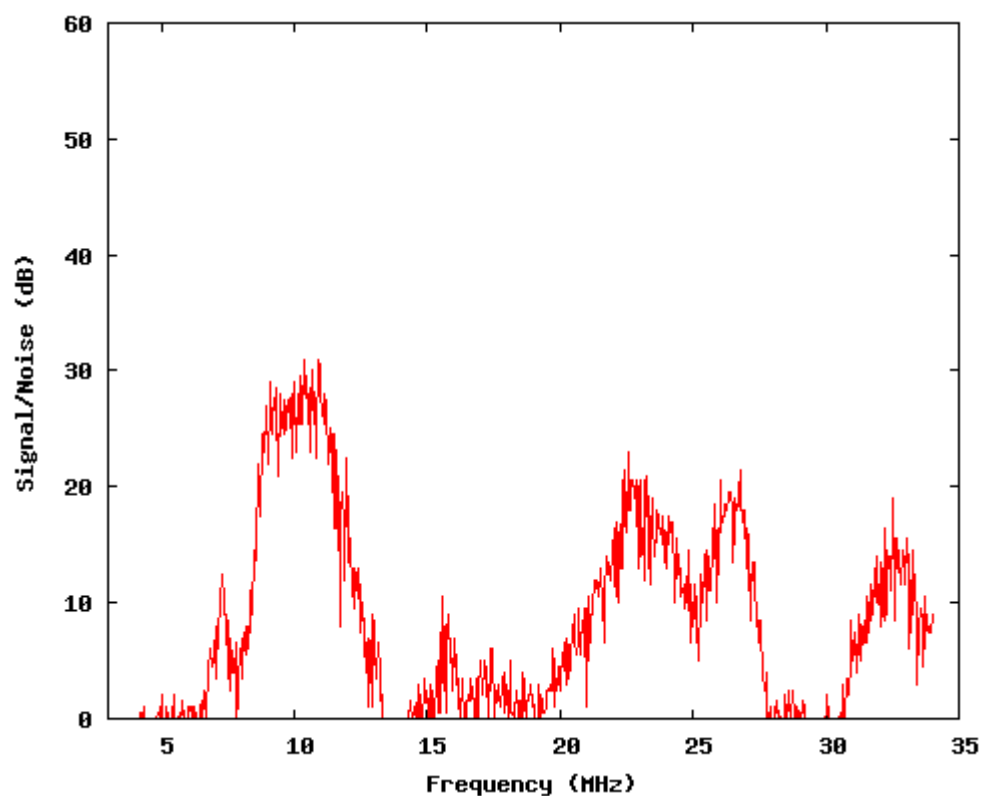
Obr. 4.16: Poměr SNR pro vzdálenost 30 metrů získaný programem DS2status



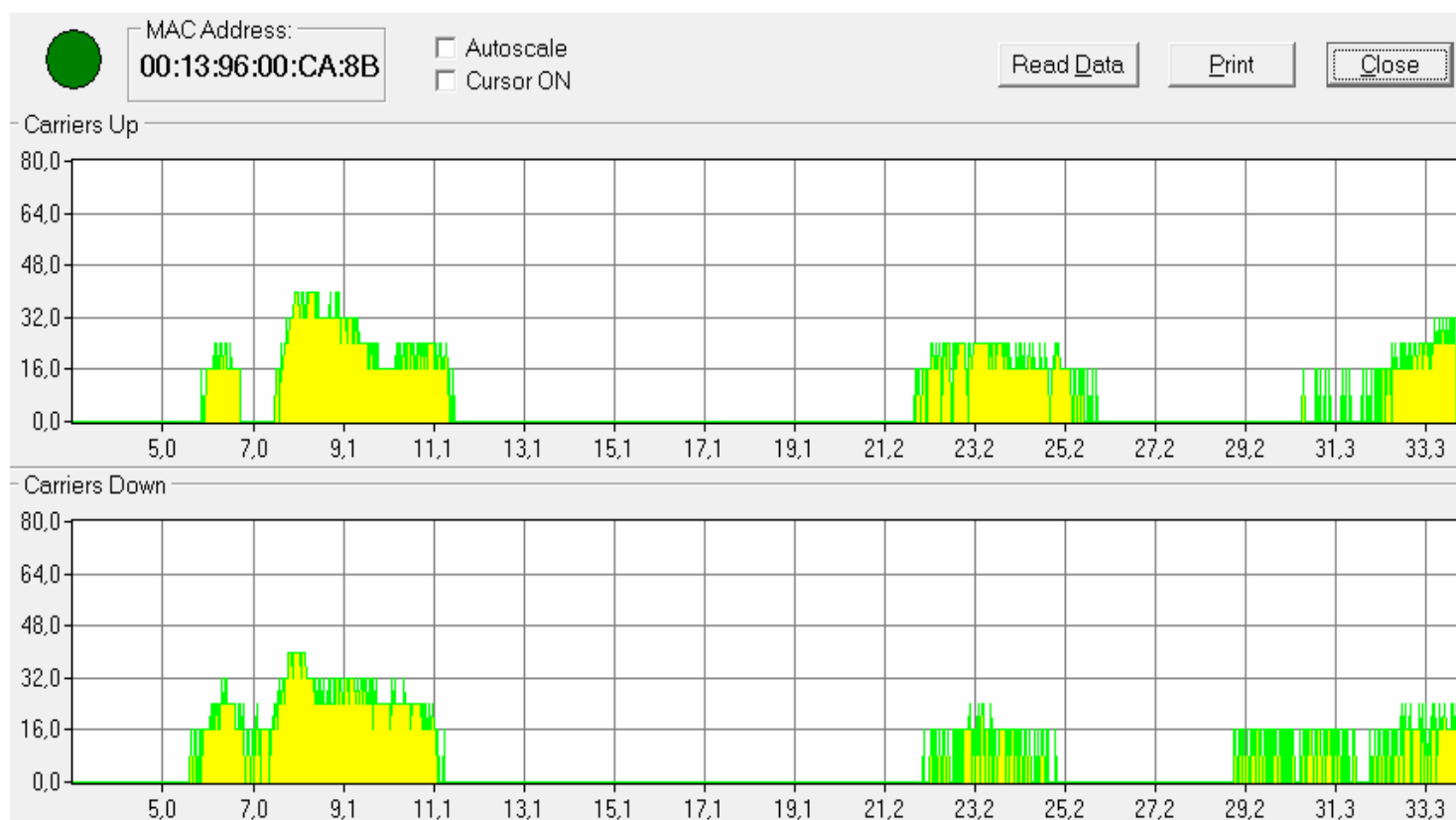
Obr. 4.17: Poměr SNR pro vzdálenost 35 metrů



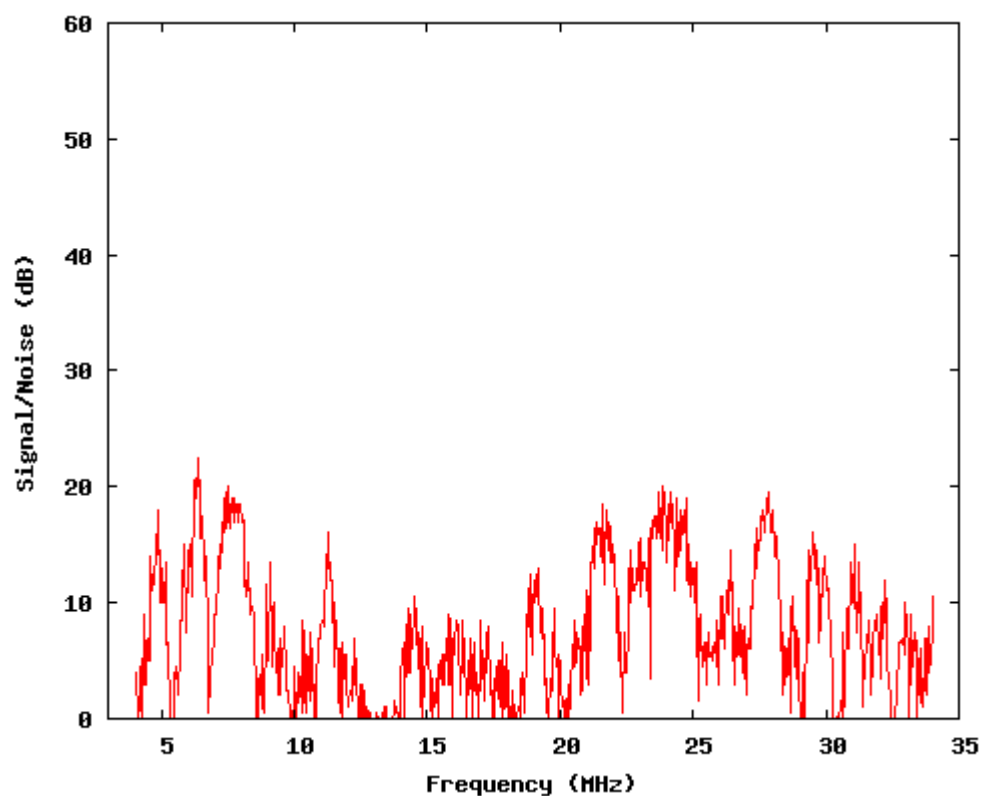
Obr. 4.18: Poměr SNR pro vzdálenost 35 metrů získaný programem DS2status



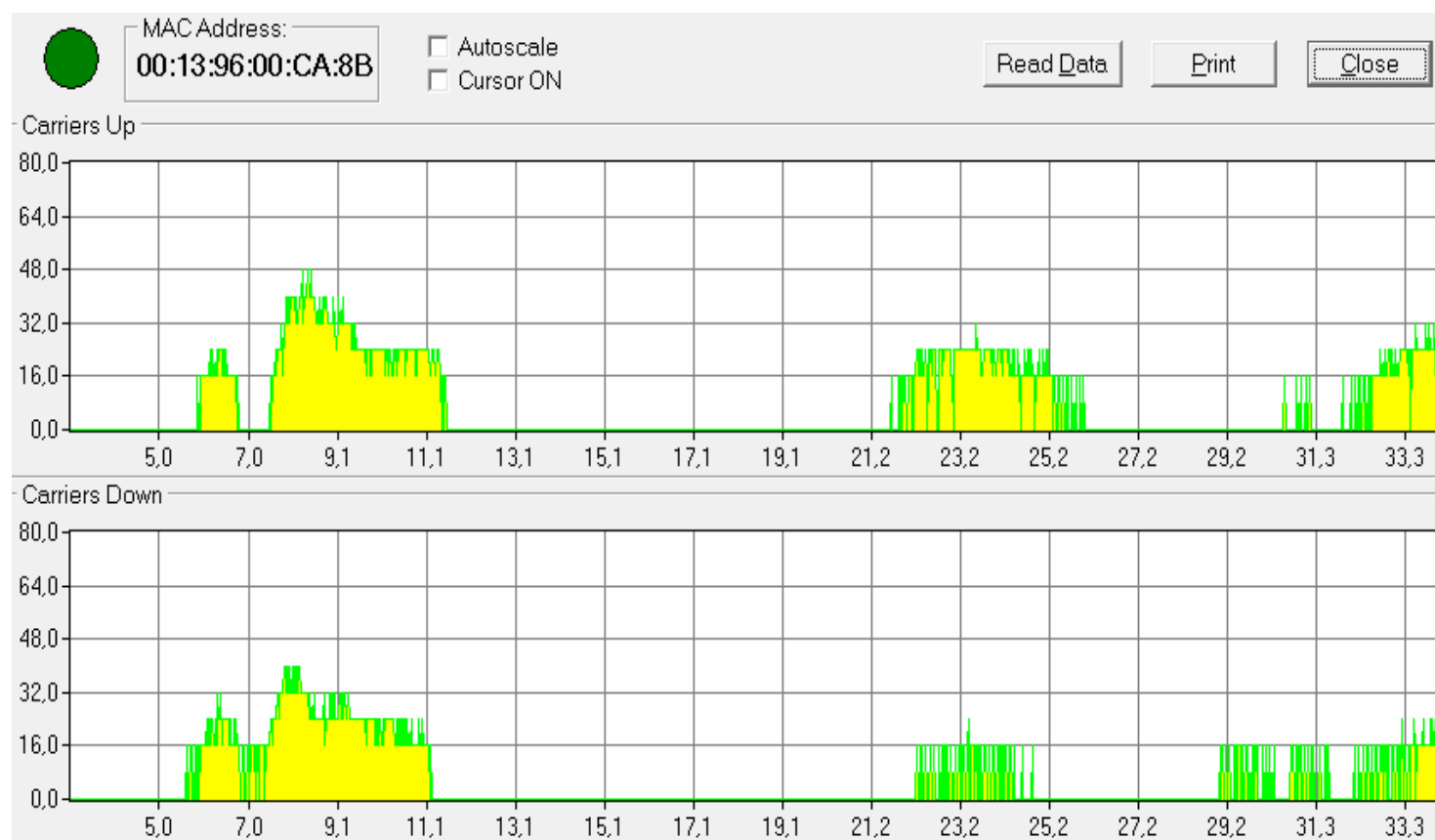
Obr. 4.19: Poměr SNR pro vzdálenost 40 metrů



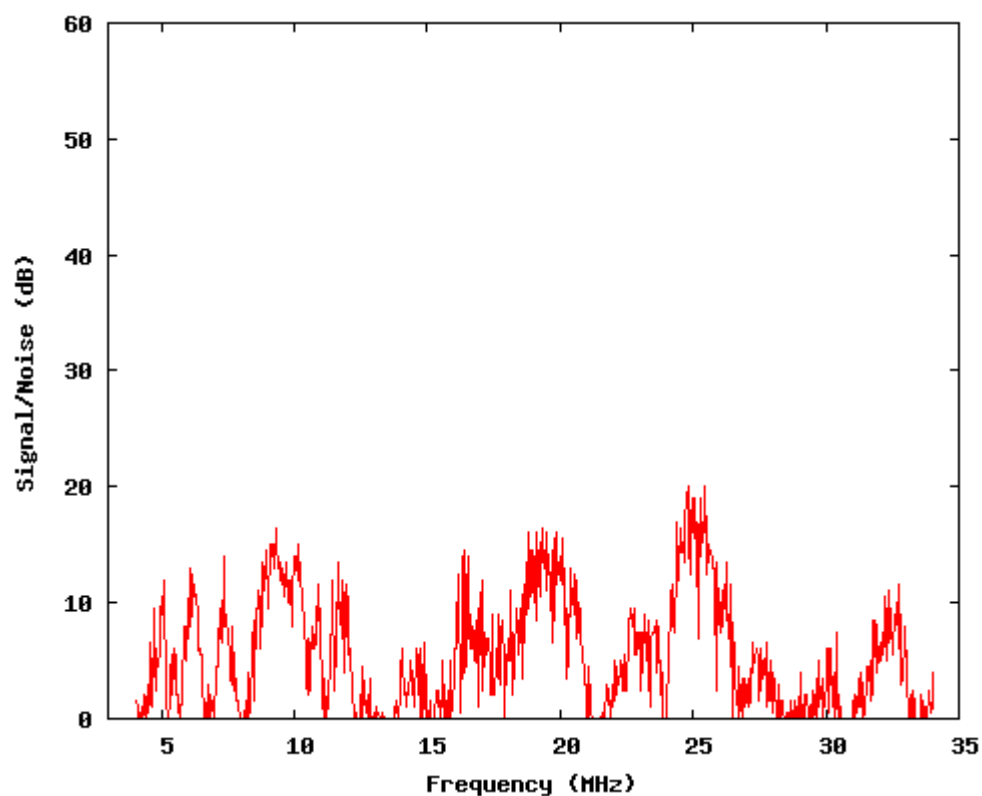
Obr. 4.20: Poměr SNR pro vzdálenost 40 metrů získaný programem DS2status



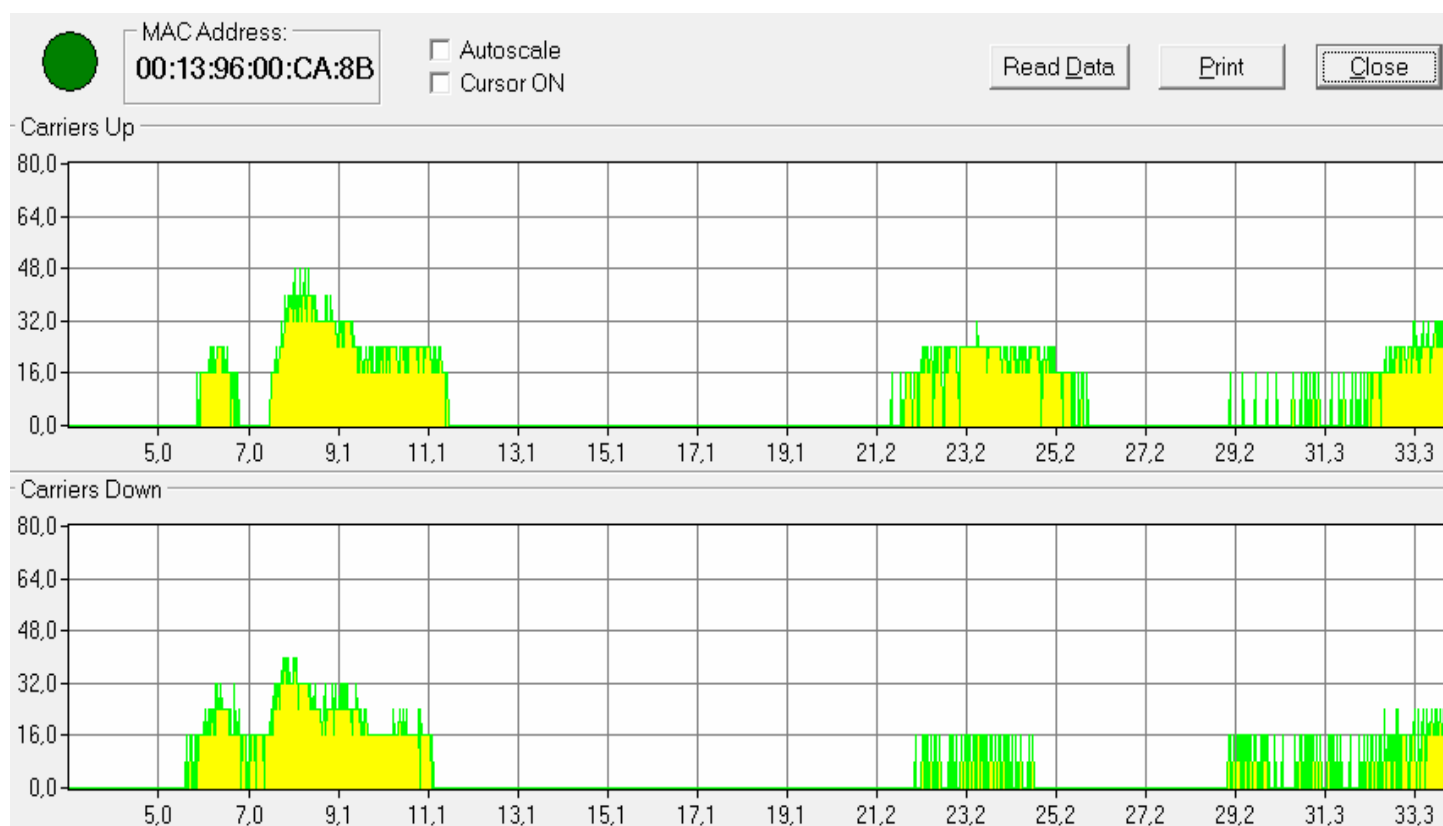
Obr. 4.21: Poměr SNR pro vzdálenost 50 metrů



Obr. 4.22: Poměr SNR pro vzdálenost 50 metrů získaný programem DS2status



Obr. 4.23: Poměr SNR pro vzdálenost 65 metrů



Obr. 4.24: Poměr SNR pro vzdálenost 65 metrů získaný programem DS2status

4.2.5 Závěr k měření systému Defidev/DS2 AGW-100

Měření základních vlastností tohoto systému ukázalo, že maximální rychlost je nabízena opět jen do vzdálenosti několika metrů. Ve větších vzdálenostech je rychlost podstatně menší. Lze to přisoudit na vrub použití více zabezpečovacích protokolů. Odezva se stabilně pohybovala okolo 8 ms. Přenosovou rychlost ve větších vzdálenostech považuji za nedostatečnou vzhledem k tomu, že toto zařízení má maximální přenosovou rychlost 200 Mbit/s. Z průběhů SNR zjištěných pomocí NMS vyplývá, že zařízení pracuje ještě při odstupu signálu od šumu 20dB. Pod touto hranicí už nedojde k navázání spojení.

Testování náchylnosti na rušení proběhlo opět za využití monitoru ViewSonic s příkonem 50 wattů a televizoru. Nebyl však zaznamenán žádný vliv těchto zařízení. El. síť je plná nejrůznějšího rušení a v podmínkách školní laboratoře nebylo možné zajistit aby v průběhu měření nebylo do el. sítě zapojeno nespočetné množství monitorů, počítačů případně jiných spotřebičů. Zajistit toto by znamenalo odpojit spotřebiče v celém patře, což bylo nereálné.

4.3 Porovnání měřených systémů

Pokud porovnáme oba měřené systémy, dojdeme k jasnému závěru, že výhodnější je používat námi testované zařízení typu HomePlug AirLive HP-2000E. Nabízí vyšší rychlost připojení, dosah má stejný jako systém DS2. Navíc u systému DS2 bylo nutné od vzdálenosti 40 metrů použít repeater, jinak se nepodařilo navázat spojení. Další výhodou zařízení HomePlug je jeho uživatelská přívětivost. Přípravky stačilo jen připojit do el. sítě a k síti WAN a jejich konfigurace proběhla automaticky. U systému DS2 bylo nutné nejprve celý systém nakonfigurovat přes webové rozhraní prvku NMS, nehledě na to, že navázání spojení mezi jednotlivými prvky systému trvalo i několik minut.

5. Závěr

V současné době proniká PLC hlavně do domácích sítí, v USA je pak využívána pro různé lokální sítě v rámci podniků nebo menších městských částí. Případně nachází využití tam, kde není možná instalace jiných systémů (např. v podzemních prostorech apod.).

Bakalářská práce je zaměřena na obecný úvod do současné problematiky v oblasti komunikace po energetických napájecích sítích. Jejím cílem bylo poskytnout ucelené informace o jednotlivých oblastech využití PLC systémů, jak v domácnostech, v automatizačních úlohách, tak i v možnostech širokopásmového připojení. PLC technologie nabízí možnost jak rychle a jednoduše připojit velké množství koncových uživatelů ke komunikační síti. Zároveň však tato technologie má i své nedostatky.

V bakalářské práci je nastíněna situace týkající se elektromagnetické kompatibility PLC systémů. Je patrné, že v této oblasti se nachází hlavní úskalí masového používání technologie PLC. Pokud by došlo v budoucnu k vyřešení problémů s EMC, mohla by tato technologie mnohem lépe konkurovat např. dnes hojně využívaným Wi-Fi sítím.

Dále byla provedena měření základních parametrů na dvou odlišných systémech PLC. Systém AirLive HP-2000E je určen pro domácí použití, s důrazem na jednoduchost používání a spolehlivost. Druhý systém Defidex/DS2 AGW-100 nabízí již poměrně propracované možnosti konfigurace, zapojení opakovače do sítě, možnost volby pracovního frekvenčního pásma apod. Oba testované systémy měly v testech dosah 65 metrů, což považuji pro domácí využití jako dostatečné. Nevýhodou je rychlý pokles přenosové rychlosti se vzdáleností. Zařízení AirLive se v tomto projevilo jako kvalitnější.

Na základě poznatků, ke kterým jsem při vypracovávání bakalářské práce dospěl, mohu využívání PLC systémů v domácnostech vřele doporučit. Nabízejí dostatečný dosah, rychlost komunikace i uživatelskou přívětivost.

6. Seznam použité literatury

- [1] HRASNICA, H., HAIDINE, A, LEHNERT, R., Broadband Powerline Communications: Network Design, Wiley, 2004, ISBN: 978-0-470-85741-0
- [2] VANČATA, P. Vyzařování a rušení způsobované systémy komunikace po energetickém rozvodu - Standardizace a měření EMC. Praha : ČVUT v Praze. Fakulta elektrotechnická. Katedra telekomunikační techniky, 2004. Závěrečná zpráva projektu FRVŠ 2004 č. 2069/G1.
- [3] HELD, G., Understanding Broadband over Power Line, Taylor & Francis Group, LLC, 2006, ISBN 0-8493-9846-0
- [4] H. Hrasnica, *Medium Access Control Protocols for Powerline Communications Networks*, Dissertation, Dresden University of Technology, Dresden, Germany, 2003.
- [5] VANČATA, P. Problematic of Powerline Communication Standardization. In RTT 2004 [CD-ROM]. Prague: CTU. Faculty of Electrical Engineering. Department of Telecommunications Engineering, 2004, s. 0115_0095. ISBN 80-01-03063-6.
- [6] www.airlive.com [online]. OvisLink corporation, [2000] [cit. 2009-05-26]. Dostupný z WWW: <http://www.airlive.com/products/HP-2000E/hp_2000e_1.shtml#f>.
- [7] *Příručka pro uživatele systému PowerLine - Defidev/DS2* [online]. [2004] [cit. 2009-05-26]. Dostupný z WWW: <http://www.luxus.cz/dokumenty/predstaveni_technologie_defidev.pdf>.

Seznam použitých zkratek

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line – asymetrický přenos dat po telefonním vedení
ARQ	Automatic Repeat Request – systém automatického opakování odpovědi
ASK	Amplitude Shift Keying – amplitudová modulace
BPL	Broadband over PowerLine – širokopásmový přenos po energetické síti
BPSK	Binary Phase Shift Keying - dvoustavového klíčování fázovým posunem
BS	Base Station – základnová stanice
CATV	Community Antenna Television – původní název pro kabelovou televizi
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization - evropská komise pro elektrotechnickou standardizaci
CFS	Carrier Frequency Systems – systémy s nosnou frekvencí
CISPR	Special International Committee on Radio Interference – mezinárodní komise pro rádiové rušení
CPE	Customer Premises Equipment – koncový modem PLC sítě
CPU	Central Processing Unit – centrální procesorová jednotka
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying - diferenciální binární klíčování fázovým posuvem
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying – diferenciální čtyřstavové klíčování fázovým posuvem
DGPS	Differential Global Positioning System – námořní navigační systém
DSL	Digital Subscriber Line – přenos dat po telefonním vedení
EMC	Electromagnetic Compatibility – elektromagnetická kompatibilita
ETSI	European Telecommunications Standards Institute – evropský telekomunikační standardizační institut
FEC	Forward Error Correction – dopředná korekce chyb
FSK	Frequency Shift Keying – frekvenční modulace
HE	Head-End – centrální zařízení PLC sítě
HDSL	High-data-rate Digital Subscriber Line – vysokorychlostní přenos dat po telefonním vedení
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers – institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
LAN	Local Area Network – lokální síť
NATO	North Atlantic Treaty Organization – severoatlantická aliance
NB30	Nutzungsbestimmung 30 – německá norma pro upravující rušení
NMS	Network Management System – systém pro konfiguraci a správu PLC sítě
NN	Nízké Napětí
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing - ortogonální kmitočtový multiplex
PLC	Powerline Communication – komunikace po energetické síti
RADSL	Rate-adaptive Digital Subscriber Line - přenos dat po telefonním vedení s adaptabilní rychlostí
RCS	Ripple Carrier Signaling – signalizace nosnou vlnou
REP	Repeater - opakováč
SDRAM	Synchronous Dynamic Random Access Memory – synchronní dynamická paměť s náhodným přístupem
SDSL	Single-line Digital Subscriber Line - přenos dat po telefonním vedení při použití jedné linky
SNMP	Simple Network Management Protokol – protokol sloužící pro správu sítí

SNR	Signal To Noise Ratio – odstup užitečného signálu od šumu
UDSL	Universal Digital Subscriber Line – univerzální přenos dat po telefonním vedení
UK	United Kingdom – spojené království, Velká Británie (Anglie)
USA	United States of America – Spojené státy americké
USB	Universal Serial Port – univerzální komunikační rozhraní
VDSL	Very-high-datarate Digital Subscriber Line – vysokorychlostní přenos dat po telefonním vedení
VN	Vysoké Napětí
VVN	Velmi Vysoké Napětí
WAN	Wide Area Network – síť pokrývající rozsáhlé území
WLAN	Wireless Local Area Network – lokální bezdrátová síť

Seznam příloh

Příloha č. 1 : Tabulky naměřených hodnot

Příloha č. 2 : Plán elektrické sítě ve třetím patře

Příloha č. 1

Tabulky naměřených hodnot časové odezvy systému AirLive HP-2000E:

Vzdálenost : 1 metr		
Cíl měření (ping)	Brána (147.229.147.1)	www.seznam.cz
Číslo měření	Čas [ms]	Čas [ms]
1	2,418	6,865
2	2,555	6,648
3	2,234	7,499
4	2,352	6,858
5	2,363	6,564
6	2,239	6,866
7	3,691	6,665
8	2,374	6,776
9	2,555	6,727
10	2,513	6,713
Minimum	2,234	6,564
Maximum	3,691	7,499
Průměr	2,529	6,818

Vzdálenost : 30 metrů		
Cíl měření (ping)	Brána (147.229.147.1)	www.seznam.cz
Číslo měření	Čas [ms]	Čas [ms]
1	2,381	6,787
2	2,22	6,627
3	2,48	7,636
4	2,263	8,396
5	2,371	7,347
6	2,236	6,886
7	2,232	6,752
8	2,37	6,945
9	5,463	6,968
10	2,484	6,729
Minimum	2,22	6,627
Maximum	5,463	8,396
Průměr	2,65	7,107

Vzdálenost : 35 metrů		
Cíl měření (ping)	Brána (147.229.147.1)	www.seznam.cz
Číslo měření	Čas [ms]	Čas [ms]
1	4,689	6,825
2	2,212	8,653
3	2,35	6,624
4	2,367	6,926
5	2,479	6,768
6	2,221	6,621
7	2,341	6,668
8	4,717	6,735
9	2,322	6,509
10	2,23	6,677
Minimum	2,212	6,509
Maximum	4,717	8,563
Průměr	2,793	6,9

Vzdálenost : 40 metrů		
Cíl měření (ping)	Brána (147.229.147.1)	www.seznam.cz
Číslo měření	Čas [ms]	Čas [ms]
1	2,553	7,198
2	4,135	6,796
3	2,334	6,615
4	2,218	8,625
5	2,335	6,692
6	2,228	8,566
7	2,215	6,634
8	4,589	6,734
9	2,059	6,651
10	2,346	8,548
Minimum	2,059	6,615
Maximum	4,589	8,625
Průměr	2,701	7,306

Vzdálenost : 50 metrů		
Cíl měření (ping)	Brána (147.229.147.1)	www.seznam.cz
Číslo měření	Čas [ms]	Čas [ms]
1	2,385	6,83
2	2,447	6,702
3	2,484	6,526
4	2,228	6,549
5	2,215	6,576
6	2,072	7,435
7	2,324	6,857
8	2,312	6,925
9	2,353	6,817
10	2,242	6,859
Minimum	2,072	6,526
Maximum	2,484	7,435
Průměr	2,306	6,808

Vzdálenost : 65 metrů		
Cíl měření (ping)	Brána (147.229.147.1)	www.seznam.cz
Číslo měření	Čas [ms]	Čas [ms]
1	2,658	6,909
2	25,2	10,916
3	3,116	6,785
4	2,557	6,814
5	2,557	6,846
6	2,606	9,03
7	31,143	7,265
8	2,49	25,224
9	7,096	12,555
10	25,61	7,515
Minimum	2,49	6,785
Maximum	31,143	25,224
Průměr	10,503	9,986

Tabulky naměřených hodnot propustnosti :

Vzdálenost: 1 metr		
Propustnost [kB/s]	147.229.148.1	www.seznam.cz
Minimum	739,411	277,217
Maxium	1630,656	1123,596
Průměr	1013,492	500,097

Vzdálenost: 40 metrů		
Propustnost [kB/s]	147.229.148.1	www.seznam.cz
Minimum	41,878	44,426
Maxium	409,941	353,49
Průměr	118,485	112,874

Vzdálenost: 30 metrů		
Propustnost [kB/s]	147.229.148.1	www.seznam.cz
Minimum	480,625	170,563
Maxium	821,946	589,102
Průměr	582,7	281,351

Vzdálenost: 35 metrů		
Propustnost [kB/s]	147.229.148.1	www.seznam.cz
Minimum	502,371	266,981
Maxium	839,356	804,303
Průměr	646,117	430,85

Vzdálenost: 50 metrů		
Propustnost [kB/s]	147.229.148.1	www.seznam.cz
Minimum	304,57	245,639
Maxium	512,821	506,666
Průměr	388,839	338,497

Vzdálenost: 65 metrů		
Propustnost [kB/s]	147.229.148.1	www.seznam.cz
Minimum	167,104	76,015
Maxium	289,876	229,289
Průměr	219,742	156,928

Příloha č. 2

