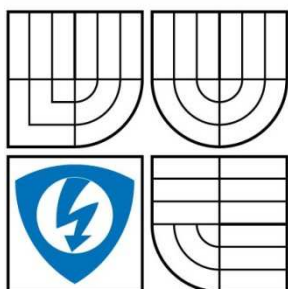


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKACNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MOŽNOSTI DATOVÉ KOMUNIKACE PO SILOVÝCH VEDENÍCH NÍZKÉHO NAPĚTÍ

POSSIBILITIES OF DATA COMMUNICATION OVER LV POWER LINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

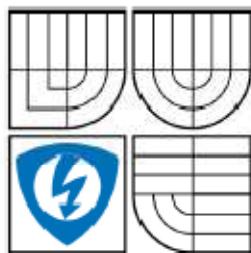
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ PATAJ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. JIŘÍ MIŠUREC, CSC.

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Teleinformatika

Student: Pataj Jiří

ID: 78374

Ročník: 3

Akademický rok: 2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Možnosti datové komunikace po silových vedeních nízkého napětí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Vyhodnoťte možnosti datové komunikace po silových vedeních, tzv. PLC. Zaměřte se především na úzkopásmové PLC, vhodné pro dálkový sběr dat, jako jeden z možných komunikačních kanálů.

Proveďte vhodná měření na systému PLC ukazující možnosti této komunikace.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Blažek, V., Skala, P.: Distribuce elektrické energie. Skriptum VUT v Brně, FEKT.
- [2] Dokumentace projektu PLC v EU O.P.E.R.A <http://www.opera.com>, web k projektu PLC v EU.
- [3] Širokopásmové PLC, <http://www.bpl.cz/wasistplc.html>.

Termín zadání: 11.2.2008

Termín odevzdání: 4.6.2008

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

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.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jiří Pataj
Bytem: Vítkov – Klokočov, 121
Narozen/a (datum a místo): 16.9.1985, Olomouc
(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):
- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☐ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Možnosti datové komunikace po silových vedeních nízkého napětí

Vedoucí/ školitel VŠKP: doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Ústav: Ústav telekomunikací

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- ☐ tištěné formě – počet exemplářů 1
- ☐ elektronické formě – počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ANOTACE

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav telekomunikací

Možnosti datové komunikace po silových vedeních nízkeho napětí

Bakalářská práce

Zaměření studia: Teleinformatika
Autor: Jiří Pataj
Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Abstrakt:

Tato práce pojednává o možnostech datové komunikace po silových vedeních nízkého napětí, tzv. PLC. Tato technologie umožňuje přenos dat po elektrickém vedení. Z hlediska datových komunikací se PLC rozděluje podle použitých kmitočtů na úzkopásmová a širokopásmová.

První část mé práce pojednává o teoretických znalostech datové komunikace po posilovém vedení a popisuje jeho technické řešení. Druhá část je věnována úzkopásmovému PLC, dostupným komerčním řešením a jejich vhodnosti pro dálkový sběr dat. Poslední třetí část je zaměřena na měření zařízení PowerLine DHP-301 od společnosti D-Link. Výsledkem jsou skutečné dosahované rychlosti této technologie v závislosti na vzdálenosti a kvalitě daného spojení.

Klíčová slova: komunikace, silové vedení, signál, úzkopásmová, modulace, frekvence

ABSTRACT

Brno University of Technology
Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of telecommunication

Possibilities of data communication over lv power lines

Bachelor's thesis

Specialisation of study: Teleinformatics
Student: Jiří Pataj
Supervisor: doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Abstract:

This thesis deals with possibilities of data communication on low voltage power lines, so-called PLC. This technology allows data transfer on power lines. According frequency band the PLC can be subdivide into narrowband or broadband class.

The first part of the thesis deals with theoretical knowledge of data communication on power lines and describes technical solutions. Second part of the thesis deals with narrowband PLC, which is accessible for commercial usage and it is suitable for remote data collection. The last part of the thesis focuses on measuring with device PowerLineDHP-301 made by D-link. The results are real bitrates depending on distance and quality of specific connection.

Keywords: communication, power line, signal, narrowband, modulation, frequency

Bibliografická citace mé práce:

PATAJ, J. *Možnosti datové komunikace po silových vedeních nízkého napětí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 52 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma “Možnosti datové komunikace po silových vedeních nízkého napětí” 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

.....

(podpis autora)

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Mišurcovi, CSc, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Seznam použitých zkratek

BPL – Broadband over Poweline

CDMA - Code Division Multiple Access

CEBus - Consumer Electronic bus

CENELEC – Evropský výbor pro elektrotechnickou standardizaci

ČSN EN 50065 - Signalizace v instalacích nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu od 3 kHz do 148,5 kHz

FEC - Forward error correction

FSK - Frequency Shift Keying

GMSK - Gaussian Minumum Shift Keying

ISAR - Intelligent System for Automated Fading

MAC - Medium Access Control

OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OPERA – European Research Aliance

PLC – Power Line Communication

PRE – Pražská energetika

PSD – Power Spectral Density

PSK - Phase-Shift Keying

Obsah

1	ÚVOD.....	13
2	TEORETICKÝ ÚVOD O PLC.....	14
2.1	HISTORIE A VZNIK PLC.....	15
2.1.1	Vývoj PLC v bodech	16
3	TECHNICKÉ ŘEŠENÍ	17
3.1	PARAMETRY VEDENÍ.....	17
3.1.1	Primární parametry.....	17
3.1.2	Odvozené parametry.....	20
3.2	FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA	21
3.2.1	Pásmo do 150 kHz.....	22
3.3	NORMA ČSN EN 50065.....	22
3.4	IMPEDANČNÍ VLASTNOSTI.....	23
3.5	SIGNÁLOVÁ VAZBA.....	23
3.5.1	Přímá fázová komunikace.....	23
3.5.2	Mezifázová komunikace bez spojení fází	24
3.5.3	Mezifázová komunikace se spojením fází.....	24
3.5.4	Zařízení zapojené mezi fázemi	25
3.5.5	Řešení mezifázové komunikace	25
3.6	RUŠENÍ	26
3.7	MODULAČNÍ TECHNIKY	27
3.7.1	Úzkopásmové modulace	28
3.7.2	Širokopásmové modulace	28
3.8	PŘÍSTUPOVÉ METODY	29
4	ÚZKOPÁSMOVÉ PLC.....	30
4.1	PROTOKOL X-10	30
4.2	LONWORKS	31
4.3	MODEMTEC	32
4.3.1	ISAR.....	32
4.4	CEBUS.....	33
5	VYUŽITÍ ÚZKOPÁSMOVÉHO PLC.....	34
5.1	KRITÉRIA PRO ROZŠÍŘENÍ.....	34
5.2	VÝHODY ÚZKOPÁSMOVÉHO PLC.....	34
5.3	NEVÝHODY ÚZKOPÁSMOVÉHO PLC	35
6	MĚŘENÍ PLC MODULŮ	35
6.1	TECHNICKÁ SPECIFIKACE DHP-301.....	36
6.2	INSTALACE A KONFIGURACE	37
6.2.1	Konfigurace DHP-300.....	38
6.3	TESTOVÁNÍ DHP-300	39
6.3.1	Měření odezvy spojení na stejné fázi elektrického rozvodu	40
6.3.2	Měření odezvy spojení na jiné fázi elektrického rozvodu	44
6.3.3	Měření přenosové rychlosti na stejné fázi elektrického rozvodu	47
6.3.4	Měření přenosové rychlosti na jiné elektrické fázi	49
7	ZÁVĚR	52
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	53

Seznam obrázků

OBR. 1 PŘÍMÁ FÁZOVÁ KOMUNIKACE	24
OBR. 2 MEZIFÁZOVÁ KOMUNIKACE BEZ SPOJENÍ FÁZÍ	24
OBR. 3 MEZIFÁZOVÁ KOMUNIKACE SE SPOJENÍM FÁZÍ	25
OBR. 4 ZAŘÍZENÍ ZAPOJENÉ MEZI FÁZEMI	25
OBR. 5 ŘEŠENÍ MEZIFÁZOVÉ KOMUNIKACE S TŘÍSVORKOVÝM FILTREM	26
OBR. 2 MOŽNÉ ZDROJE RUŠENÍ NA PŘENOSOVÉ CESTĚ PLC.....	27
OBR. 3 KONFIGURAČNÍ PROGRAM PRO VYHLEDÁVÁNÍ PLC ADAPTÉRŮ	38
OBR. 4 DETEKCE VZDÁLENÉHO A MÍSTNÍHO ZAŘÍZENÍ DHP-300.....	38
OBR. 5. KONFIGURACE DHP-300.....	39
OBR A.1 ODEZVA SPOJENÍ NA STEJNÉ FÁZI VE VZDÁLENOSTI 1M.....	41
OBR A.2 ODEZVA SPOJENÍ NA STEJNÉ FÁZI VE VZDÁLENOSTI 8M.....	41
OBR A.3 ODEZVA SPOJENÍ NA STEJNÉ FÁZI VE VZDÁLENOSTI 20M.....	42
OBR A.4 ODEZVA SPOJENÍ NA STEJNÉ FÁZI VE VZDÁLENOSTI 24M.....	42
OBR A.5 ODEZVA SPOJENÍ NA STEJNÉ FÁZI VE VZDÁLENOSTI 32M.....	43
OBR A.6 ODEZVA SPOJENÍ NA STEJNÉ FÁZI VE VZDÁLENOSTI 40M.....	43
OBR A.7 ODEZVA SPOJENÍ NA STEJNÉ FÁZI VE VZDÁLENOSTI 50M.....	44
OBR B.1 ODEZVA SPOJENÍ NA JINÉ FÁZI VE VZDÁLENOSTI 10M.....	45
OBR B.2 ODEZVA SPOJENÍ NA JINÉ FÁZI VE VZDÁLENOSTI 20M.....	46
OBR B.3 ODEZVA SPOJENÍ NA JINÉ FÁZI VE VZDÁLENOSTI 40M.....	46
OBR C.1 PŘENOSOVÁ RYCHLOST NA STEJNÉ FÁZI V ZÁVISLOSTI NA VZDÁLENOSTI SPOJENÍ.....	48
OBR C.2 PŘENOSOVÁ RYCHLOST NA STEJNÉ FÁZI V ZÁVISLOSTI NA VZDÁLENOSTI SPOJENÍ.....	48
OBR C.3 DOBA STAHOVÁNÍ SOUBORU (260,14 MB) NA STEJNÉ FÁZI V ZÁVISLOSTI NA VZDÁLENOSTI SPOJENÍ	49
OBR D.1 PŘENOSOVÁ RYCHLOST NA JINÉ FÁZI V ZÁVISLOSTI NA VZDÁLENOSTI SPOJENÍ	50
OBR D.2 PŘENOSOVÁ RYCHLOST NA JINÉ FÁZI V ZÁVISLOSTI NA VZDÁLENOSTI SPOJENÍ	51
OBR D.3 DOBA STAHOVÁNÍ SOUBORU (260,14 MB) NA JINÉ FÁZI V ZÁVISLOSTI NA VZDÁLENOSTI SPOJENÍ.....	51

Seznam tabulek

TABULKA 1. VÝTAH ROZDĚLENÍ FREKVENČNÍHO PÁSMU ELETRICKÉ SÍTE DLE NORMY ČSN EN 50065.....	22
TABULKA 2. ODEZVA SPOJENÍ A ZTRÁTOVOST PAKETŮ NA STEJNÉ FÁZI ELEKTRICKÉHO ROZVODU	40
TABULKA 3. ODEZVA SPOJENÍ A ZTRÁTOVOST PAKETŮ NA STEJNÉ FÁZI ELEKTRICKÉHO ROZVODU	45
TABULKA 4. PŘENOSOVÁ RYCHLOST SPOJENÍ NA STEJNÉ ELEKTRICKÉ FÁZI.....	47
TABULKA 5. PŘENOSOVÁ RYCHLOST SPOJENÍ NA JINÉ ELEKTRICKÉ FÁZI	50

1 ÚVOD

Použití technologie přenosu dat po silových vedeních nízkého napětí má největší uplatnění hlavně tam, kde není možné vybudovat novou datovou kabeláž, například z důvodu stavebních úprav, nebo na místech, kde je to ekonomicky výhodnější než budování nové datové sítě.

Cílem mé práce bylo prostudovat možnosti datové komunikace po silových vedeních nízkého napětí. Podrobně prozkoumat především úzkopásmové PLC, vhodné pro dálkový sběr dat, jako jeden z komunikačních kanálů. Poté provést měření na systému PLC ukazující možnosti této komunikace.

V první části mé práce bylo teoreticky popsáno technické řešení PLC. Byla popsána frekvenční charakteristika podle evropské normy CENELEC, rušení, signálová vazba a impedanční vlastnosti vedení. Dále byl uveden popis zaměřený na úzkopásmové modulační techniky a používané přístupové metody k přenosovému prostředku

V druhé části bylo popsáno úzkopásmové PLC a to především používané technologie pro průmyslový dálkový sběr dat. Podrobně bylo rozebráno využití jednotlivých technologií s návrhem kritérií pro rozšíření. Byly zde také popsány výhody a nevýhody úzkopásmového PLC.

V poslední části mé práce bylo provedeno měření zařízení D-Link PowerLine DHP-301 v nově zrekonstruovaném rodinném domě se silovým vedením z mědi. Byla provedena měření přenosové rychlosti a odezvy v závislosti na délce vedení.

2 TEORETICKÝ ÚVOD O PLC

Už dlouhou dobu se rozmáhá myšlenka využití napájecí sítě pro přenos dat. Takovéto napájecí sítě využívané pro datovou komunikaci nesou označení PLC. Technologie „Power Line Communication“ (PLC) umožňuje přenos dat po elektrickém vedení. Hlavní výhodou této technologie je použití sítě, která dnes pokrývá téměř celý svět a dosahuje i do míst, kde by jiný způsob vytvoření datové sítě byl prakticky nemožný. Samozřejmostí je využití stávající kabelové infrastruktury, což vede ke snadné instalaci takovéto sítě a snížení nákladů na její vytvoření. Už ze své podstaty je možné tuto síť použít ke komunikaci a sdílení informací. Přenos dat po energetické síti nabízí kromě širokopásmového přístupu k internetu také další služby. Dodavatelé elektrické energie mohou technologii PLC využít pro dálkové snímání hodnot elektroměrů, jakou jsou automatizované odečty elektroměrů, řízení spotřeby energie v reálném čase nebo spotřebu energie v různou denní dobu. Pro uživatele v domácnosti přenos dat po energetické síti nabízí, kromě přístupu k širokopásmovému internetu, také přenos dat pro monitorovací účely, ovládání domácích spotřebičů a audiovideotechniky na dálku. Je možné tuto technologii také využít k řízení vytápění, klimatizace a zabezpečení domácnosti proti vloupání, či hlášení požáru. Prolínání moderních informačních technologií a silových vedení přináší zajímavé možnosti využití, které vede k efektivnějšímu využívání energetických rozvodů i pro dálkový sběr dat.

2.1 Historie a vznik PLC

Myšlenky přenášet data po rozvodech napájecí sítě nízkého napětí se začaly prosazovat v devadesátých letech dvacátého století. Mezi nejznámější průkopníky přenosu dat posilových rozvodů patří americká společnost Nortel, která se v Evropě spojila s britskou energetickou společností United Utilities PLC. Přesněji s její dceřinou společností Norweb Communications, zabývající se komunikacemi. Poté jako podnik Nor.Web DPL vyvinul technologii přenosu dat po silových rozvodech s názvem Digital PowerLine. Ještě v roce 1998 byla na CeBITu 98 představena nejnovější verze této technologie pod označením DPL 1000 a Nor. Web mezitím započal velký testovací projekt v Manchesteru. O rok později došlo k ukončení projektu Manchester i aktivit společnosti, která dále nechtěla pokračovat vývoji technologie pro přenosy dat po silových rozvodech. Důvody ukončení tohoto projektu byly ekonomické, kdy se praktické nasazení ukazovalo jako příliš drahé. Také rozdílné řešení silových rozvodů v různých státech je nemalý problém. Představa, že jediné technické řešení dokáže vyhovět situaci v různých státech nebyla příliš reálná a přizpůsobení pro každý stát by bylo příliš drahé. Obdobně odpadnul stejně zaměřený projekt německé firmy Siemens. Po pár letech se začaly objevovat první produkty pro přenosy dat. Mezi první aplikace patřilo vzdálené měření spotřeby elektrické energie. Přestože se vývoji věnuje více firem, na přední pozice výroby čipsetů se dostala americká firma Intellon a španělská společnost Design of Systems on Silicon, známá pod zkratkou DS2, která se touto problematikou zabývá od roku 1998. Tato společnost má hlavní roli ve vývoji řešení pro technologický základ projektu Open PLC European Research Alliance (OPERA), jehož sponzorem je Evropská Komise. Projekt OPERA byl oficiálně spuštěn 1. ledna 2004 a kromě DS2 se do něj zapojilo několik univerzit a firem z evropských zemí. Cílem tohoto projektu bylo a je vyvinout jednotný standart pro PLC, který měl nahradit řešení jednotlivých firem. Výsledkem tohoto snažení je čip DS2. V roce 2005 společnost Corinex aplikovalo tento čip pro přenosy dat po elektrické sítí. Po třech letech v lednu 2007 projekt vstoupil do další etapy nazvané OPERA Phase II. Evropská komise schválila další financování a tím by tedy v následujících letech mělo dojít k dalšímu vývoji broadbandových služeb BPL (Broadband over Powerline) po elektrorozvodných sítích a využití dálkového sběru dat. V roce 2006 společnost ElectraStar spustila v Praze poskytování internetových a hlasových služeb, které využívají elektrické rozvody patřící Pražské energetice (PRE). Tomuto komerčnímu provozu předcházela úspěšný pilotní test. V současné době je napájecí síť kromě distribuce elektrické energie také dále využívána rozvodnými závody pro vzdálenou regulaci odběru a odečty elektroměrů.

2.1.1 Vývoj PLC v bodech

- Nortel + United Utilities PLC = Nor. Web - > Digital PowerLine
- 1998 – první testovací projekt Digital PowerLine v Manchesteru
- 1999 – Nor. Web ukončil další vývoj své technologie
- 1999 – nové technologie společností Siemens, Ascom
- 2000 – nová technologie společnosti Polytrax
- 2001 – Siemens ukončil vývoj své technologie
- 2001 – nová technologie společnosti Corinex
- 2001 – společnost Intellon představila čipset 14 Mbit/s
- 2001 – první projekt PLC v České republice (Ascom)
- 2002 – zkušební provoz na rychlosti 27 Mbit/s
- 2002 – spuštěn projekt PLC na KTT ČVUT FEL
- 2003 – zkušební provoz systému PLC pro vysoké napětí 22 kV
- 2004 – spuštěn projekt Open PLC European Research Alliance (OPERA)
- 2005 – Corinex aplikoval čip DS2 pro přenosovou rychlost 200 Mbit/s
- 2005 – spuštěn pilotní projekt společnosti PRE pro nasazování PLC technologie a poskytování internetových služeb v Praze
- 2006 – ElectraStar začala nabízet v Praze vysokorychlostní připojení k internetu přes elektrické rozvody společnosti PRE
- 2007 – spuštěna 2. fáze projektu OPERA

3 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Požadavky na vlastnosti přenosového zařízení:

- Při přenosu dat zachování přenosu energie.
- Zamezit rušení ostatních zařízení a nenechat se rušit (zajištění elektromagnetické kompatibility).
- Zajištění co možná největšího dosahu při dálkovém sběru dat.

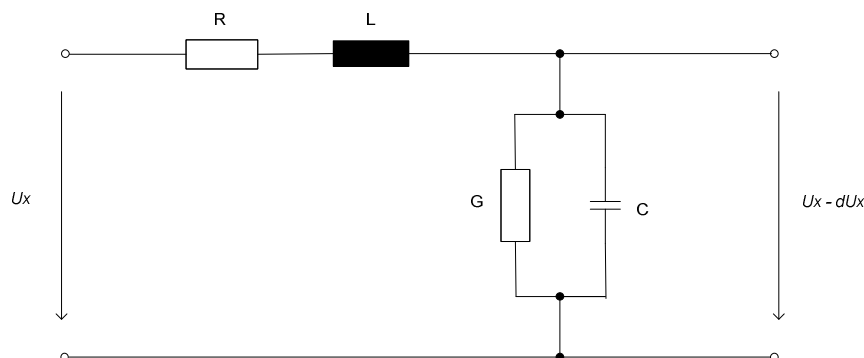
Hlavním úkolem silového vedení je a bude přenos elektrické energie, kde se v rozvodech používá nf kmitočet 50 Hz. Napájecí síť není z hlediska komunikací optimální médium a pro efektivní komunikaci je tedy nutné porozumět charakteristikám napájecích sítí.

3.1 Parametry vedení

Souvislost mezi napětím a proudem v prvcích elektrizační soustavy vyjadřujeme pomocí základních a odvozených parametrů vedení. Některé parametry lze určit pomocí výpočtů, jiné zjišťujeme měřením.

3.1.1 Primární parametry

Mezi primární neboli základní parametry vedení řadíme rezistanci, indukčnost, konduktanci a kapacitu. Element homogenního vedení lze zakreslit takto.



Obr.1: Element homogenního vedení

Rezistance R_0

Základní tři parametry, které stanovují velikost rezistance vedení, jsou rezistivita, průřez vodiče a délka vedení. Vedle těchto základních parametrů mají vliv na velikost rezistance i teplota, kroucení drátů, průhyb zavěšených vodičů, nerovnoměrnost průřezu, spojování vodičů a u střídavého proudu skinefekt.

Vliv materiálu při ustáleném proudu a teplotě je vyjádřen vztahem (3.1) a vliv teploty na rezistanci oproti teplotě ϑ_0 je vyjádřena vztahem (3.2).

$$R_0 = \rho_0 \cdot \frac{l}{S} [\Omega/\text{km}], \quad (3.1)$$

ρ_0 ... rezistivita
kde l ... délka vodiče
 S ... plocha průřezu vodiče

$$k_\vartheta = \frac{R_\vartheta}{R_{\vartheta_0}} = 1 + \alpha_R \cdot (\vartheta - \vartheta_0) + \beta_R \cdot (\vartheta - \vartheta_0)^2 [-]. \quad (3.2)$$

kde: $R_\vartheta, R_{\vartheta_0}$... rezistance při teplotách ϑ a ϑ_0
 α_R, β_R ... teplotní součinitelé odporu

Indukčnost L

Indukčností vyjadřujeme vliv magnetického pole od proudů ve vodičích na daný vodič. U vícevodičového vedení, vzhledem k nevelké vzdálenosti vodičů, vznikají vzájemně magneticky vázané proudové obvody jednotlivých vodičů. V případě trojfázového symetrizovaného vedení se souměrnou zátěží je možné souhrn indukčních vlivů vyjádřit provozní indukčností a proudem jedné fáze. V ostatních případech (nesouměrné vedení, nesouměrná zátěž nebo kombinace obou těchto případů) je třeba indukční vlivy uvažovat odděleně pomocí vlastní a vzájemné indukčnosti a proudů v příslušných obvodech. Indukčnost vedení je dána vztahem

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_{rv} \cdot l_1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{d}{r} + \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot l_1}{8 \cdot \pi} [H]. \quad (3.3)$$

d ... osová vzdálenost
 r ... poloměr průřezu vodiče
 μ_r ... permeabilita
kde μ_0 ... permeabilita vakua
 μ_{rv} ... relativní permeabilita
 l_1 ... délka vodiče
 π ... Ludolfovo číslo

Protože se obvykle indukčnost neudává v H, ale $\frac{H}{m}$ v , tak do vzorce (3.3) dosadíme $l = 1000m$, $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$, $\mu_{rv} = 1$ a převedeme přirozený logaritmus na dekadický. Po dosazení dostáváme tento vztah

$$L = 0,46 \cdot \log \frac{d}{r} + 0,05 \cdot \mu_r [mH/km] . \quad (3.4)$$

Konduktance G

Reálná složka příčné admitance způsobuje ztráty činného výkonu, které závisí málo na zatížení, ale značně na napětí a povětrnostních vlivech. Nelze je vyjádřit přesnými matematickými vztahy. Dělí se na ztráty svodem přes izolátory a ztráty korónou, které převládají. Ztráty korónou se podstatněji uplatní až od jmenovitého napětí vedení 110 kV. Při běžných výpočtech ustáleného stavu na vedení se konduktance obvykle zanedbává.

Kapacita C

Kapacitou vyjadřujeme zpětný vliv elektrického pole působeného v prostoru vedení napětím mezi vodiči na dané vedení. Časově proměnné elektrické pole od napětí ve vodiči indukuje proudy nejenom v tomto vodiči, ale i ve vodičích ostatních. Proto se vypočítávají kapacity jednotlivých vodičů a zároveň kapacit vzájemných. Jelikož vedení se liší, uvádím zde jen přibližný vztah

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0}{\ln \frac{d}{r}} [\eta F / km] . \quad (3.5)$$

kde d ... vzdálenost vodičů
 r ... poloměr průřezu vodiče
 ϵ_r ... relativní permitivita
 ϵ_0 ... permitivita materiálu

Skinefekt

Skinefekt způsobuje při průchodu střídavého proudu zvětšování proudové hustoty ve směru k povrchu vodiče. Nerovnoměrnost rozložení proudu po průřezu závisí na kmitočtu proudu, materiálu, velikosti a tvaru průřezu vodiče a působí zvětšení rezistance proti rezistanci pro stejnosměrný proud. Zvýšení rezistance skinefektem je pro hliníkové dráty při kmitočtu 50 Hz zanedbatelné. Ovšem zanedbatelný není tento vliv pro indukčnost vedení, kde se definuje konstanta k , která je pro různé materiály vodičů různá. Například u ocelových vodičů se skinefekt uplatňuje nejvíce. Její vyčíslitelnost je ovšem složitá, proto se měří.

3.1.2 Odvozené parametry

Při řešení ustálených stavů v soustavách se střídavým proudem o frekvenci 50 Hz se zavádí odvozené parametry, tj. induktivní reaktance X , kapacitní susceptance B , podélná impedance Z a příčná admitance Y .

Induktivní reaktance X

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = \omega \cdot L [\Omega], \quad (3.6)$$

f ... frekvence
kde ω ... úhlová rychlost
 L ... indukčnost

Kapacitní susceptance B

$$B = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C = \omega \cdot C [S], \quad (3.7)$$

f ... frekvence
kde ω ... úhlová rychlost
 C ... kapacita

Podélná impedance vedení Z

Parametry vedení se udávají v jednotkách na 1 km délky

$$Z_k = R_k + jX_k [\Omega/km], \quad (3.8)$$

R_k ... rezistance vedení na jednotku délky
kde X_k ... induktivní reaktance vedení na jednotku délky

Příčná admitance vedení Y

Parametry vedení se udávají v jednotkách na 1 km délky

$$Y_k = G_k + jB_k [S/km], \quad (3.9)$$

G_k ... konduktance vedení na jednotku délky
kde B_k ... kapacitní susceptance vedení na jednotku délky

Měrná míra přenosu γ

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} [S], \quad (3.10)$$

α ... reálná část ... měrný útlum [dB/km]
kde β ... imaginární část ... měrný fázový posuv [rad/km]

Vlnová impedance vedení Z

Někdy je též označována jako charakteristická impedance vedení. Stejně jako měrná míra přenosu dána vztahem (3.10) se jedná o komplexní veličinu.

$$Z = \operatorname{Re} Z + j\operatorname{Im} Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} [\Omega]. \quad (3.11)$$

$\operatorname{Re} Z$... reálná část
kde $\operatorname{Im} Z$... imaginární část

3.2 Frekvenční charakteristika

Z hlediska datových komunikací je zajímavý rozsah kmitočtů od 100 kHz do 30 MHz. Tento používaný rozsah frekvencí se rozděluje na úzkopásmové a širokopásmové PLC. Na frekvencích od 10 kHz do 150 kHz (úzkopásmové PLC) se útlumová charakteristika pohybuje okolo 3dB. Se stoupající frekvencí se útlum převážně zvyšuje a při frekvenci 1 MHz dosahuje hodnot okolo 23dB. Při vyšších frekvencích od 1MHz do 30 MHz (širokopásmové PLC) se útlumová charakteristika pohybuje v rozmezí 22 dB až do 70 dB. Útlum na vedení je také značně ovlivněn topologií a připojenými spotřebiči, které jsou běžné v silových rozvodech a mohou být připojovány nebo odpojovány zcela náhodně, což má významný vliv na časově nestálé parametry kanálů. Transformátory jsou pro datový signál také značný problém a řešení tohoto problému není zcela snadné. U komunikačních modemů pro přenos dat po silových vedeních nízkého napětí byla frekvence definována dle ČSN EN 50065 do 150 kHz.

3.2.1 Pásmo do 150 kHz

Evropské normy CENELEC (Evropský výbor pro elektrotechnickou standardizaci) výrazně omezují šířku pásma využitelnou pro přenos dat [6]. V Evropě jsou stejně jako u nás pro přenos dat po energetické síti povoleny kmitočty rozdělené do čtyř pásem, které jsou uvedeny v normě ČSN EN 50065. Kmitočtové pásmo od 9 kHz do 148,5 kHz je rozdělena na 4 subpásma A, B, C, D. Pásma B, C, D jsou pro všeobecné použití a nejnižší možnou frekvenci pro přenos dat lze stanovit na 100 kHz, protože na nižších frekvencích je velká úroveň šumu od zařízení připojených k síti. Při úvaze horní frekvence 150 kHz lze tedy vidět, že šířka pásma není vysoká, což ovlivňuje i přenosovou rychlost.

Pásmo	Kmitočtový rozsah [kHz]	Poznámka
	3 - 95	jen pro dodavatele el. energie
A	9 - 95	pro dodavatele el. energie a po jejich souhlasu i pro odběratele
B	95 -125	jen pro odběratele
C	125 - 140	jen pro odběratele – vyžadován protokol o přistoupení k dohodě
D	140 – 148,5	

Tabulka 1. Výťah rozdělení frekvenčního pásma elektrické sítě dle normy ČSN EN 50065.

3.3 Norma ČSN EN 50065

Přesný název této normy je „Signalizace v instalacích nízkého napětí v kmitočtovém rozsahu od 3 kHz do 148,5 kHz.“. Přesně stanovuje kmitočtové pásmo (viz. Tabulka 1), meze koncového výstupního napětí v pracovním pásmu a meze pro rušení šířené vedením a vyzařováním. Udává také metody měření.

Protokol o přistoupení k dohodě:

- všechny systémy musí použít kmitočet 132,5 kHz k upozornění, že vysílání pokračuje

- žádný vysílač nesmí vysílat spojitě po dobu přesahující 1 s a po každém vysílání nesmí vysílat znovu po dobu alespoň 125 ms. (pozn. vysílání je považováno za řadu signálů, v kterých není mezera větší než 80 ms)
- každý vysílač musí být vybaven signálním detektorem, který detekuje, kdy je pásmo v použití (tj. stav, kdy je přítomen na hlavních vstupních svorkách přístroje jakýkoliv signál v pásmu 131,5 - 133,5 kHz trvající alespoň 4 ms)
- přístroj může vysílat, jestliže pásmo není využito po dobu v každém případě náhodně zvolenou a rovnoměrně rozloženou mezi 85ms a 115ms s alespoň sedmi možnými hodnotami v tomto pásmu
- k umožnění detekce použitého pásma musí přístroj vysílat svůj signál se spektrálním rozložením v souladu s B přílohou této normy

3.4 Impedanční vlastnosti

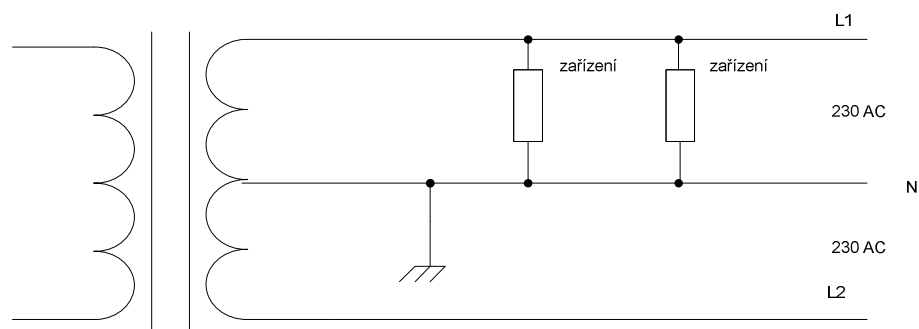
Impedance se pohybuje od jednotek ohmů až po jednotky kiloohmů v závislosti na kmitočtu. Z měření v laboratoři pro elektromagnetickou kompatibilitu zjistili, že v síťových rozvodech obytných budov se impedance na frekvenci 100 kHz pohybuje v rozmezí od 1,5 ohmů do 80 ohmů. Tyto hodnoty ovlivňují zátěže připojené k síti a transformátor. Impedance vodičů má převážně zanedbatelný vliv a má většinou induktivní charakter.

3.5 Signálová vazba

Signálová vazba umožňuje přenos dat mezi zařízeními [1]. U nás jsou standardně elektrické rozvody realizovány pomocí třífázového rozvodu 400V. Jelikož je signál z vysílače injektován do jedné fáze střídavého rozvodu, musíme pomocí speciálních filtrů zajistit, aby vf signál byl dodáván do všech fází. Vysvětlím zde některé případy, které mohou nastat při napojení zařízení ovládaných pomocí síťového rozvodu. Pro jednoduchost budu uvažovat jen dvoufázový rozvod z distribučního transformátoru.

3.5.1 Přímá fázová komunikace

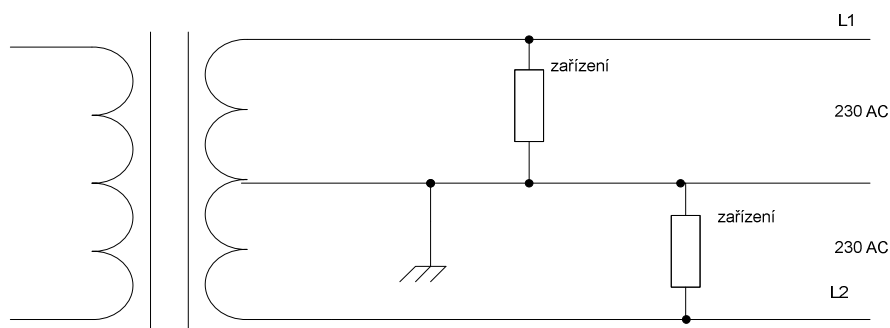
Při přímé fázové komunikaci jsou zařízení na stejné fázi, a pokud nedochází k velkému útlumu na trase, nedochází ani k problémům při komunikaci. Jedná se tedy téměř o ideální stav zapojení vysílače a přijímače, kde jsou pevně spojeny silovými vodiči.



Obr.2: Přímá fázová komunikace

3.5.2 Mezifázová komunikace bez spojení fází

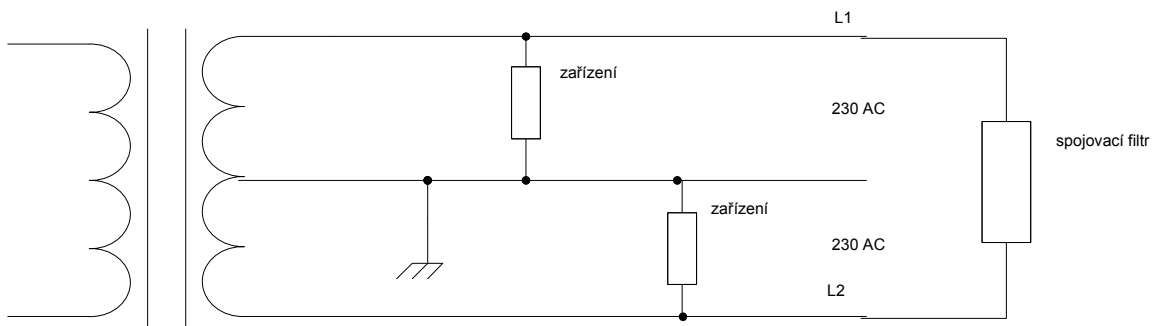
Některé instalace vyžadují, aby uzly byly připojeny k jiným fázím distribuční sítě. Distribuční transformátor je realizován na frekvenci 50 Hz a komunikační cesta je přes sekundární vedení distribučního transformátoru. V závislosti na transformátorové konfiguraci a zatížení se může signálový útlum pohybovat při frekvencích od 100 kHz do 400 kHz v řádech desítek dB. Pokud dochází ke kombinaci tohoto útlumu se šumem distribuční sítě, nedochází ke komunikaci mezi uzly.



Obr.3: Mezifázová komunikace bez spojení fází

3.5.3 Mezifázová komunikace se spojením fází

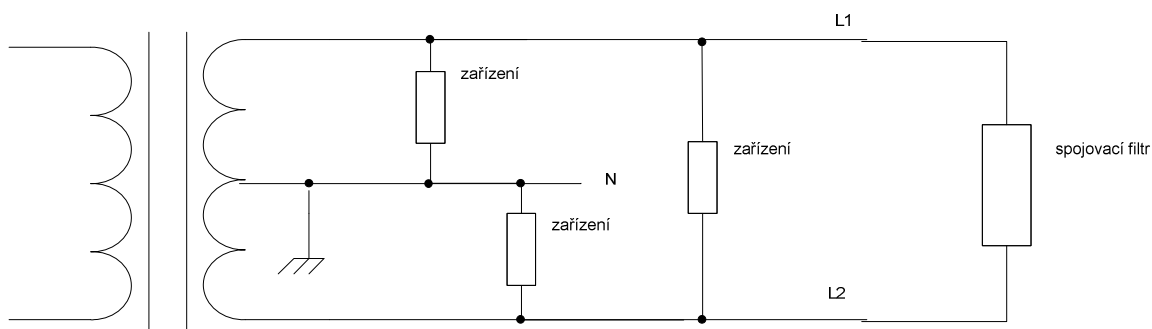
Řešením pro mezifázovou komunikaci může být spojení fází pomocí spojovacího filtru, který slouží pro signálové přemostění fází a má charakteristiku pásmové propusti pro 100 – 130 kHz. Pro tyto kmitočty je konstrukce takové propusti realizovatelná.



Obr.4: Mezifázová komunikace se spojením fází

3.5.4 Zařízení zapojené mezi fázemi

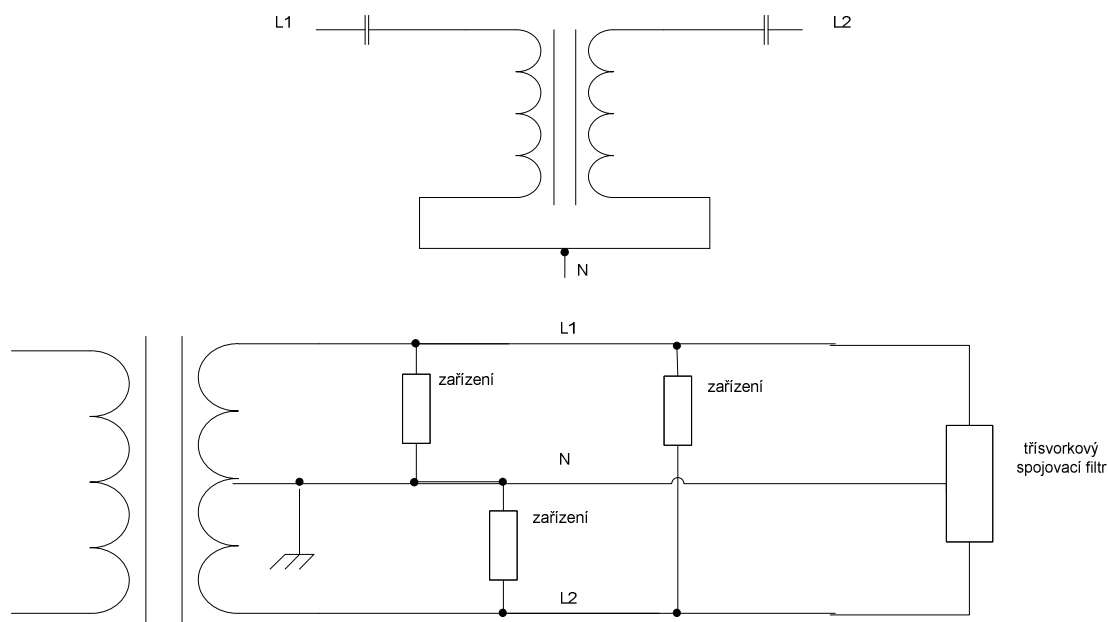
Pokud je zařízení připojeno mezi fáze L1 a L2, dochází ke zkratu pro datový signál, který způsobuje spojovací filtr. Spojovací filtr funguje správně, když mají zařízení společnou zem. Proto je zapotřebí další řešení této situace.



Obr.5: Zařízení zapojené mezi fázemi

3.5.5 Řešení mezifázové komunikace

Pro řešení zapojeného zařízení mezi fáze lze použít třísivkový spojovací filtr, který dokáže propojit fáze L1 a L2 signálově, nikoli však napěťově. Podle frekvenčního pásma použitého pro přenos dat jsou určeny hodnoty kapacitou a induktorů filtru. Tímto lze docílit spojení zařízení mezi fází a nulou i mezi fázemi. Signálový útlum je značně menší a pohybuje se okolo 3 dB namísto desítek dB.



Obr.6: Řešení mezifázové komunikace s třísvorkovým filtrem

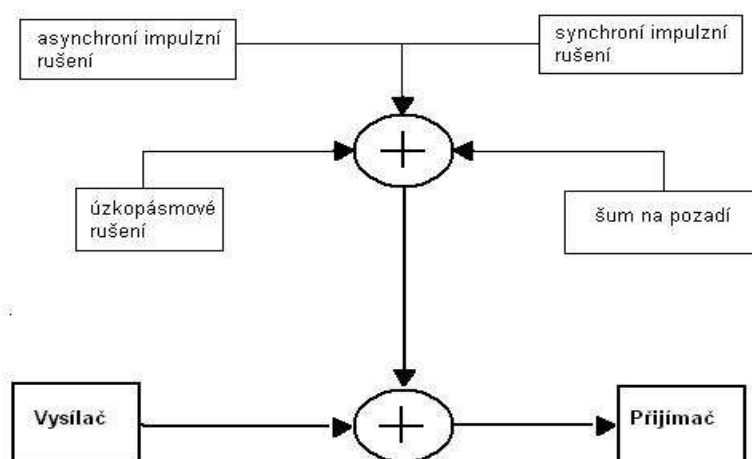
3.6 Rušení

V případě systémů PLC dochází i k velmi silnému rušení [8]. Samotné zařízení PLC může být objektem rušení od jiných zařízení nebo naopak samo může být zdrojem rušení pro ostatní zařízení. Rušení je nejvíce způsobováno spotřebiči zapojenými blízko přijímače a skládá se z impulzního rušení, úzkopásmového rušení a šumu na pozadí.

Šum na pozadí – v síti je přítomen vždy a vzniká skládáním velkého počtu zdrojů rušení a jeho parametry jsou proměnlivé v čase. Popisuje se spektrální výkonovou hustotou neboli PSD (Power Spectral Density), která s rostoucím kmitočtem klesá. Na frekvencích do 20 kHz jsou hodnoty PSD vysoké a při frekvencích pohybujících se okolo 150 kHz je úroveň PSD řádově tisíckrát nižší.

Impulzní rušení – Vyskytuje se v energetických sítích velmi často a je způsobováno tyristorovými regulátory, kolektorovými elektromotory nebo spínanými zdroji. Je charakteristické napětovými špičkami o délce trvání od jednotek do stovek μs , které dosahují úrovně PSD o 10 až 50 dB více než šum na pozadí. Impulzní rušení lze rozdělit na asynchronní a synchronní.

Úzkopásmové rušení – na frekvencích pohybujících do 150 kHz jej způsobují nejčastěji spínané procesy, zářivky, televize a počítačové monitory. Při vyšších frekvencích rušení pochází od rozhlasových stanic vysílajících ve středovlnném a krátkovlnném pásmu.



Obr.7: Možné zdroje rušení na přenosové cestě PLC

Existují dva principy, jak s přijatelnou chybovostí přenést data po napájecí síti:

- Vhodnou korekcí chyb korigovat špatnou kvalitu přenosového média. Proto je nutno navrhnout systém takový, který minimalizuje nejčastější chyby a rychle vyřeší výpadky, aby se přenos jevil přenos bez chyb.
- Najít způsob, jak přenést signál bez zkreslení přes zarušené přenosové médium. Tady se také neobejdeme bez vhodné detekce a korekce chyb.

Ti, kteří se zaměřili na první možnost většinou používají rozprostřené spektrum (spread spectrum modulation) na frekvencích od 100 kHz do 400 kHz. U druhého způsobu se používá úzké frekvenční pásmo a jeho vhodná volba je základním předpokladem úspěchu. Například nejstarší standard X-10 pracuje s amplitudovou modulací 120 kHz nosné. Novější zařízení pracují na frekvencích nad pásmem středních vln. Mezi další klíčové prvky, kromě volby vhodné pracovní frekvence, patří volba komunikačního protokolu, vhodná délka paketů, adaptivní vyvažování vedení a dopředná korekce chyb.

3.7 Modulační techniky

V současné době používají služby PLC úzkopásmové a širokopásmové modulace [7]. Pro spolehlivou komunikaci po napájecích sítích je důležité zvolit vhodný způsob přenosu dat. Nejvhodnější pro dálkový sběr dat jsou úzkopásmové modulace

3.7.1 Úzkopásmové modulace

Pro spolehlivou komunikaci přes přenosové médium je třeba zvolit vhodný způsob přenosu. Z hlediska realizace jsou nejvýhodnější modulace úzkopásmová o jedné nosné. Tyto modulace se na napájecím vedení používají ve frekvenčním pásmu kolem 100 kHz. Lze je použít pouze pro nízké bitové rychlosti v řádu set kbps.

Druhy úzkopásmových modulací:

- FSK (Frequency Shift Keying) – frekvenční klíčování

Tato modulace je založena na klíčování značky či mezery pomocí dvou rozdílných kmitočtů. Rozdíl klíčovacích kmitočtů je označován jako zdvih neboli shift.

- PSK (Phase-Shift Keying) – fázové klíčování

Informace se kóduje pomocí změny fáze vysílaného signálu. Vzniká možnost použití dvou stavů, kde jsou fáze navzájem otočené o π (BPSK - Binary Phase-Shift Keying), nebo použití několika různých stavů. (QPSK - Quadrature Phase Shift Keying)

- GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)

Jedná se o speciální typ úzkopásmové modulace, kde jsou data vysílána ve fázi vyplývající z konstantní obálky. Při vyšších přenosových rychlostech než 2Mbps je signál odolný proti úzkopásmovému a impulznímu rušení.

3.7.2 Širokopásmové modulace

Tyto modulace se používají pro kmitočtové pásmo od 2 MHz do 30MHz a pro výrazně vyšší přenosové rychlosti.

Druhy širokopásmových modulací:

- CDMA (Code Division Multiple Access) s přímým rozprostřením DSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Tato modulace je vhodná pro přenosy kolem 1 Mbps. Její výhodou je odolnost vůči úzkopásmovému rušení (nízké vyzařování). Problémem jsou dosahované přenosové rychlosti a realizace způsobu synchronizace.

- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

V současnosti nejvyužívanější metoda širokopásmové modulace. Jedná se o přenosovou techniku pracující s tzv. rozprostřeným spektrem, kdy je signál vysílán na více nezávislých frekvencích, což zvyšuje odolnost vůči interferenci. Jednotlivé nosné jsou modulovány robustními modulacemi (QPSK, 16QAM, 64QAM) a jsou vzájemně ortogonální, takže maximum každé nosné se překrývá s minimy ostatních. Největší výhodou je vyhodnocování chybovosti v reálném čase, tedy jak moc se na nich projevuje rušení, poruchy a útlumy. Podle těchto informací se buďto kanál pro přenos využije či nikoliv. Hlavní nevýhodou ortogonálních nosných je vysoký poměr mezi špičkovým a středním výkonem. Proto jsou také vyžadovány zesilovače se širokým lineárním rozsahem, které jsou schopny eliminovat vysoký poměr výkonu.

3.8 Přístupové metody

PLC vyžaduje specifické řešení přístupu k přenosovému prostředku. To je k protokolu MAC (Medium Access Control). Aby bylo zajištěno spolehlivého přenosu dat, musí přístupové protokoly provádět detekci a opravu chyb, účinné adaptivní vyrovnávání a fragmentaci paketů do krátkých rámců. Přenos se realizuje po krátkých datových rámcích, protože při přenosu větších souvislých informací dojde k chybám. Je tedy potřebné kromě mechanismu detekce chyb použít i mechanismy opravné. Pro PLC se jako metoda přístupu nejvíce hodí deterministické předávání tokenu. Právo vysílat (rámec token) obdrží vždy pouze jediný uzel. Pro přenos tokenu mezi uzly se používá spolehlivá dohadovací metoda ve třech krocích (free-way handshake). Tímto se předává token mezi uzly deterministicky a nehrozí přitom ztráta tokenu. I když všechny uzly nemusí slyšet každé vysílání v síti, protože elektrické sítě u každého přípojného uzlu liší, právo vysílat má díky tokenu jen jeden uzel. Proto nedochází k současnému vysílání a kolizím.

Forward error correction:

Dopředná oprava chyb (FEC - Forward error correction) se používá k minimalizaci počtu opětovného vysílání a detekce chyb ke zjištění, jestli je třeba znovu vyslat některý rámc. Každý rámc se potvrzuje pro zajištění spolehlivosti a tím nedochází ke ztrátám rámců. Příjímač v PLC musí být schopen se přizpůsobovat neustálým změnám v elektrické síti, protože se podmínky v elektrické síti neustále mění. Příjímači tak pomáhá adaptivní vyrovnávání, aby se mohl přizpůsobovat každému dalšímu rámcu.

4 ÚZKOPÁSMOVÉ PLC

Úzkopásmové PLC se používá nejen pro dálkový sběr dat. Přenosové kanály s nízkou úrovní rušení poskytují malé přenosové rychlosti v rámci stovek kbps. Tyto přenosové rychlosti jsou ovšem dostačující pro průmyslové využití. Jedná se o sběr dat, řízení technologických procesů, monitorování a regulaci, např. teploty nebo vlhkosti v potravinářských provozech nebo odečtu a řízení spotřeby elektřiny či plynu včetně sledování energetických špiček. Mezi specifické služby patří centrální řízení spotřeby energie a využití výhodných časových tarifů. Jednotlivá propojená zařízení by mohla mít vlastní identifikátory (např. IP adresy), na základě nichž by bylo možné jejich funkčnost monitorovat a automaticky zjišťovat jejich poruchy. Například severošpanělská firma Iberdrola využívá PLC o rychlosti 19,2 kbps čistě pro své vlastní účely k automatizovanému odečtu elektroměrů a řízení spotřeby energie v reálném čase.

4.1 Protokol X-10

Technologie x-10 se používá pro ovládání a sběr dat z domácích spotřebičů [3]. Data jsou synchronizována průchodem napětí přes nulu a přenášena v rámci 11 znacích. V každé periodě se vysílá frekvenční impuls o délce 1 ms a frekvenci 120kHz, který signalizuje log. 1, pokud tam 120kHz není, jedná se o log. 0. Z důvodu přenosu signálu mezi fázemi by měly být tyto impulsy přeneseny třikrát tak, aby odpovídaly průchodům nulou všech fází.

Kompletní přenos rámce se uskuteční během 11 period energetické sítě. První dvě periody reprezentují START kód. Další čtyři obsahují HOUSE kód a posledních 5 period obsahuje číselný kód (1 až 16) nebo funkční kód (On, Off, atd.). Takovýto rámec se vždy odesílá dvakrát s mezerou 3 period mezi rámci. V každém rámci se čtyři a pět bitové kódy odesílají inverzně ve druhé polovině periody. To znamená, že když je v první periodě frekvenční impuls (log. 1), ve druhé periodě tento impuls chybí (log. 0).

Přenos jednoho bitu trvá 20 ms, a proto je tento protokol vhodný pro přenášení dat s povely typu rozsvítit nebo zhasnout. Mohou se tak vypínat a zapínat elektrické spotřebiče, stmívat osvětlení anebo ovládat dvousměrné motory (například u elektricky ovládaných rolet). Dále je k dispozici celá řada řídicích zařízení, od zmíněných univerzálních ovladačů audio a videotechniky přes různé časovače, budíky, ovladače pro dálkové řízení z tlačítkového telefonu a rozhraní bezpečnostních ústředn.

4.2 LonWorks

Technologie LonWorks je komunikační platforma vyvinuta v letech 1989 až 1992 firmou Enchelon Corporation [5]. Protokol užívaný pro komunikaci na této sběrnici se nazývá LonTalk. Jako přenosové médium slouží napájecí síť, ale lze použít téměř jakékoliv médium (kroucená dvojlinka, optické vlákno, bezdrátové spojení). Používá se nejen pro dálkové odečty měřičů energií, regulaci v průmyslu, ale i pro řízení spotřebičů a automatizaci budov (topení, klimatizace). Pro datový přenos sítě LonWorks tvořené silovými sítěmi jsou zapotřebí vazební členy. Tyto vazební členy jsou pro pásma A i C (viz. Tabulka 1) podle evropské normy CENELEC. Vazební člen umožňuje signálové propojení dvou oddělených vedení pro komunikační signál sítě LonWorks. Současně modul zajišťuje potřebnou izolaci mezi propojovanými vedeními, která mohou mít charakter pasívních vedení, stejnosměrných nebo střídavých rozvodů s nízkým kmitočtem včetně energetických rozvodů 230V.

Základní vlastnosti:

Síť LonWorks využívá peer-to-peer architektury (přímá komunikace systémem uzel-uzel) s prioritním systémem zasílání zpráv. Komunikační model je nezávislý na fyzickém přenosovém médiu a na topologii sítě. Pro základ této sítě je potřeba inteligentní uzel, neboli node. Tento uzel je založen na speciálních mikrokontrolérech, kterým se říká Neuron chip a běží na nich LonTalk protokol. Pakety lze přenášet libovolným přenosovým médiem (například síťovými rozvody) díky nezávislosti Neuron chipu na typu transceiveru. Řízení paketů provádí LonTalk protokol, který tvoří firmware každého Neuron chipu. Pomocí unikátního 48 bitového identifikátoru (Neuron ID) se provádí identifikace uzlu a tím i adresace v síti.

Český modulární systém:

České firmy nabízí pod názvem Lonet modulární systém pro síť LonWorks. Lze tímto systémem zajistit sběr dat, snímání veličin, monitorování stavů a řízení po elektrovedné síti nebo po libovolném médiu. Základní desku s Neuron chipem a interface pro komunikaci s ostatními jednotkami obsahuje každá jednotka Lonet. Dále obsahuje napájecí zdroj a je i zde aplikační interface, který vytváří požadované propojení s okolím. Jsou to analogové a digitální I/O, reléové výstupy.

Výhody a využití:

Síť LonWorks díky své univerzálnosti a otevřené formě lze aplikovat pro sběr dat, řízení spotřebičů bytů až mrakodrapů, od oblasti supermarketů až po výrobní

továrny. Dalo by se říci, že LonWorks umožňuje široké možnosti při přenosu dat po téměř jakémkoliv přenosovém médiu. Této síti se přisuzuje dynamický rozmach a růst.

4.3 ModemTec

Technologie ModemTec [4] využívá podle legislativy EU pro PLC přenosy frekvenční rozsah od 3 kHz do 148,5 kHz. PLC komunikace společnosti ModemTec patří dle srovnání dostupné nabídky v současné době k celosvětově nejvyspělejším technologiím pro úzkopásmovou komunikaci v elektrických rozvodech. ModemTec PLC technologie umožňuje spolehlivě komunikovat po stávajících energetických rozvodech na vzdálenosti do 5 km.

Základní vlastnosti:

Základním principem komunikace je modulace a demodulace. Po napájecích rozvodech se šíří vnucený modulovaný vf. signál. Pomocí přijímacího modulu lze oddělit z napájecího napětí signály v komunikačním pásmu a demodulací výsledného tak získat původní data. Přes CRC kontrolní součet se provádí ověření správnosti dat a pomocí FEC korektorů (dopředná oprava chyb) jsou přidávána k vysílaným datům redundantní informace, ze kterých lze obnovit původní data při poruše. Dále se využívá pro bezpečnost přenášených dat potvrzování přenášených dat, automatické opakování, případně 100% redundancí vysílané zprávy, její prokládání při vysílání a opětovné sestavení při příjmu. Důležitou vlastností je, že se podařilo docílit schopnosti přenášet informace bez nutnosti vkládání opakovaců, které se na rozdíl od širokopásmových PLC přenosů využívají každých 50-100 metrů.

4.3.1 ISAR

Systém ISAR (Intelligent System for Automated Fading) nedávno představila společnost ModemTec. Pro dálkové odečty využívá úzkopásmové přenosy PLC, které plně vyhovují evropským normám. Data lze spolehlivě přenášet z celé oblasti pokryté distribučním transformátorem, i v silně zarušeném prostředí. Je to umožněno převážně díky délkám nízkonapětového vedení z transformovny, které většinou nepřekračuje 2 až 3 km. Nedílnou součástí systému je také zabezpečení přenášených dat a odolnost proti jeho případnému narušení.

Tento systém je navržen jako víceúrovňový:

- Základní úroveň je obsluha měřeného bodu (elektroměru, vodoměru apod.).
- Měřeným bodům je nadřazen koncentrátor umístěný v blízkosti transformovny. Mezi těmito vrstvami jsou přenášena data po elektrické síti. Pro přenos dat z koncentrátoru do nadřazeného agregačního koncentrátoru jsou používány privátní nebo veřejné datové sítě.
- Agregační koncentrátor slouží ke zprávě většího území a mezi jeho základní funkce patří organizování trasy přenosu po elektrické síti. Umí nastavit případné opakovače a lze tak řídit manipulace (přepnutí měřeného místa na jiný zdroj) v nízkonapěťové soustavě. Také vyhodnocuje diagnostické signály od podřízených vrstev.
- Centrální systém slouží k propojení mezi dalšími systémy (účetní a fakturační, řízení provozu, informační systémy). Nežádoucí stavy v síti detekuje kontrolní a řídicí systém, který se také využívá k řízení dálkových odečtů a spotřeby.

4.4 CEBus

Systém CEBus (Consumer Electronic bus), také známý jako EIA 600, je sada elektrických standardů a komunikačních protokolů pro elektronická zařízení, která mají přenášet příkazy a data. Tento standard zahrnuje modulaci rozprostřeného spektra (spread spektrum modulation) na elektrickém vedení. Modulace rozšířeného spektra začíná na jedné frekvenci a tuto frekvenci mění během jednoho cyklu. V CEBus standardu elektrického vedení začíná každý „burst“ (impulz) na 100 kHz a lineárně se zvyšuje k 400 kHz během 100 μ s. Pauza mezi jednotlivými impulzy je nutná pro rozlišení hodnot dat, protože přítomnost (označováno jako nadřazený stav) i nepřítomnost (označováno jako nižší stav) těchto impulzů vytváří stejné logické hodnoty. Log. 1 se tedy vytváří přítomností nebo nepřítomností impulzu, který trvá 100 μ s. Pokud chceme dosáhnout stavu log. 0, musí být délka těchto impulzů 200 μ s. Přenosová rychlost je díky tomu proměnná a dosahuje tak průměrné přenosové rychlosti 7500 bps. V závislosti na velikosti dat požadovaných k přenosu se mění i velikost přenášených paketů. Minimální velikost paketu je 64 bitů.

5 VYUŽITÍ ÚZKOPÁSMOVÉHO PLC

Možností využití přenášení datových zpráv pomocí energetických rozvodů je spousta. Pokud bereme v úvahu úzkopásmové PLC, řídící se u nás dle normy ČSN EN 50065, tak možné využití je pro průmyslový dálkový sběr dat. Dodavatelé elektrické energie tedy mohou využít automatizovaný odečet elektroměrů, řízení spotřeby energie v různou denní dobu a špičky ve spotřebě. Reálné použití je i pro řízení technologických procesů, k monitorování a regulaci, které se dá využít v potravinářských provozech pro hlídání teploty a vlhkosti. Možné využití se ale také nabízí u domácího uživatele v domácnostech. Jedná se o tzv. Smart House (chytré domy), kde lze nainstalovat síť ovládacích, měřících a komunikačních prvků, které s příslušným vybavením mohou řídit některé činnosti v domě. Souvisí to s možností propojení nejrůznějších domácích spotřebičů, jako jsou inteligentní ledničky, trouby, různá čidla, měřící a zabezpečovací systémy.

5.1 Kritéria pro rozšíření

Pro masové rozšíření této technologie je potřeba stanovit určitá kritéria, které by měly datové přenosy splňovat.

- Zajištění spolehlivé komunikace s dostatečně rychlým datovým přenosem.
- Dostatečné zabezpečení přenášených dat proti zneužití.
- Minimální nebo aspoň srovnatelné finanční náklady ve srovnání s konkurenčními technologiemi.
- Dosažení co největšího dosahu při dálkovém sběru dat.

5.2 Výhody úzkopásmového PLC

Přenos dat pomocí energetické sítě přináší určité výhody. Mezi výhody patří úspora nákladů při tvorbě datové sítě, protože je samozřejmostí využití stávajících energetických rozvodů, které patří celosvětově mezi nejrozšířenější síť. Není proto třeba budovat další síť určené čistě pro datové přenosy. Využívá se tedy současně rozvodná síť pro přenos energie a dat určených ke vzdálenému spotřebiči. Tímto dojde k zjednodušení elektroinstalace i nákladů na datovou síť. Rozsah a rozvedení této sítě má značné předpoklady k takovému využití. Tento aspekt přináší značnou výhodu pro

PLC ve srovnání s využití instalace datových kabelů nebo vytvářením bezdrátových sítí Wi-Fi. Výhodou je i využití na místech, kde nelze realizovat bezdrátovou síť kvůli značnému zarušení prostoru. Toto zarušení je u nás typické, protože patříme mezi státy s největším počtem bezdrátových sítí.

5.3 Nevýhody úzkopásmového PLC

Mezi základní nevýhody určitě patří praktická realizace, protože je velmi náročná kvůli specifickým odlišnostem silových rozvodů v různých zemích, ale také kvůli dějům, které v napájecí síti probíhají. Nejčastěji jde o nejružnější druhy rušení způsobované hlavně elektrickými spotřebiči. Proto jsou potřeba propracované techniky modulací a přenosu dat. Tyto nevýhody jsou zejména způsobeny skutečností, že elektroinstalace nejsou uzpůsobeny pro přenos dat, na rozdíl od ostatních přenosových médií využívaných pro datovou komunikaci. Poměrně těžké je také zabezpečení bezpečného přenosu dat. Při možnosti jednoduchého zapojení téměř jakéhokoliv přístroje do elektrické sítě, lze tedy úmyslně a poměrně jednoduše znemožnit datovou komunikaci. Mezi další problémy, které brání rozšíření úzkopásmového PLC, je nejednotnost a velké množství různých specifikací. Používají se tak rozdílné specifikace jako jsou X-10, CEBus, LonWorks, ModemTec. I když některé specifikace jsou schopny přenášet data až na vzdálenost 5 km, dosahované přenosové rychlosti jsou ve srovnání s ostatními přenosovými médii mnohem menší. Přestože pro dálkový sběr dat nejsou vysoké přenosové rychlosti zásadní, může být přenosová rychlost v rámci kbps nedostačující.

6 MĚŘENÍ PLC MODULŮ

PLC moduly pro měření jsou vybrány s ohledem pro domácí použití, kde se vytváří datová síť do vzdáleností blížící se 50m. Pro vytvoření a měření datové sítě bude tedy použito zařízení PowerLine DHP-301 od společnosti D-Link. Jedná se o tzv. „PowerLine HD Ethernet Starter Kit“. Dva adaptéry, které slouží k vytvoření datové sítě dvou počítačů pomocí rozvodů elektrické sítě. Samostatný adaptér nese označení DHP-300. Potřebné je dodávané instalační CD, které slouží pro nastavení adaptérů. Neméně důležité jsou také dva ethernet kabely, pro propojení Pc s adaptéry. Cílem měření je skutečná dosahovaná rychlost spojení v závislosti na vzdálenosti a kvalitě daného spojení.

6.1 Technická specifikace DHP-301

- **Standard**

IEEE 802.3 Ethernet/ 802.3u Fast Ethernet

- **Rozhraní pro elektrický rozvod**

Elektrická zástrčka se 3 kontakty

- **Ethernetové rozhraní**

Port: 10/100BASE-TX s funkcí Auto MDI MDIX

Konektor: RJ-45

- **Modulace přenosu přes elektrický rozvod**

OFDM symbolová modulace

- **Frekvenční pásmo pro přenos přes elektrický rozvod**

2 až 32 MHz

- **Rychlost přenosu dat**

Elektrický rozvod: 200Mb/s (fyzická rychlost)

Ethernet: 10/100 Mb/s (automatické nastavení rychlosti)

- **QoS**

Standard pro prioritní fronty 802.1P (4 fronty)

Multi segment bursting

- **Zabezpečení**

Kombinované DES/3DES šifrování dat

Uživatelé nastavitelný šifrovací klíč Net ID)

802.1Q VLAN Tagging (pevná hodnota, nelze uživatelsky změnit)

Konfigurace/Správa

Konfigurační program pro Windows

Podpora SNMP (pro nastavení šifrovacího klíče)

Telnet

Dálkový upgrade softwaru (přes FTP)

- **Minimální systémové požadavky (pro spuštění konfiguračního programu)**

PC s 233MHz procesorem

64 MB paměti

Windows XP SP2 nebo 2000 SP4

Ethernetový adaptér (síťová karta) (100 Mb/s)

- **Diagnostické LED indikátory**

Power Line Link

Power Line Activity

Ethernet Link/ Activity

- **Napájení**

100 až 240V st, 50/60 Hz, 160 mA

- **Rozměry (1 adaptér)**

101 x 71 x 37 mm

- **Hmotnost (1 adaptér)**

172 gramů

Poznámka:

Elektrické zásuvky a vodiče musí být součástí stejného elektrického rozvodu. Pro připojení dalších zařízení k síti jsou zapotřebí další PowerLine HD Ethernet adaptéry [9].

6.2 Instalace a konfigurace

Instalace adaptérů je bezproblémová. Po připojení adaptérů do elektrické sítě se rozsvítí dioda indikující napájení a v rozmezí několika sekund se rozsvítí, v závislosti na vzdálenosti obou zařízení, indikace propojení adaptérů. Jakmile dojde k připojení UTP kabelů, rozsvítí se i indikace datové sítě. Konfiguraci samostatných adaptérů lze provádět pouze z operačního systému Windows, kde se zařízením nekomunikuje na úrovni IP adresy, ale pomocí MAC adresy. Z přiloženého CD se tedy s konfigurační utilitou instaluje WinPCap knihovna, která umožňuje pracovat s nižšími vrstvami TCP/IP modelu. Není tak nutné mít ve Windows nastavenou IP adresu, protože konfigurační program komunikuje s DHP-300 na nižší vrstvě TCP/IP modelu.

6.2.1 Konfigurace DHP-300

Po zapojení obou adaptérů do elektrické a datové sítě se nainstaluje konfigurační program dodávaný na příloženém CD společností D-link. Spustí se konfigurační program, kde nejprve proběhne vyhledávání dostupných adaptérů na elektrické síti. Oba adaptéry se připojují na stejnou fázi elektrického vedení.



Obr.8: Konfigurační program pro vyhledávání PLC adaptérů

Konfigurační program vyhledá všechny dostupné adaptéry na elektrické síti. Zobrazí se informace o připojeném místním a vzdáleném adaptéru. Nejprve je nutné konfigurovat vzdálený adaptér a poté místní.



Obr.9: Detekce vzdáleného a místního zařízení DHP-300

Na vzdáleném adaptéru do kolonky Net ID vyplníme námi zvolený název sítě (standardní hodnota udaná výrobcem je DHP-300). Při použití více zařízení DHP-300 je možné vytvořit více nezávislých datových sítí. Poté zvolíme šifrovací klíč v položce Encryption key (standardní hodnota je DHP-300), kterým lze šifrovat posílaná data na úrovni adaptérů. Položka Alias slouží k pojmenování adaptérů a tím k rozlišení vzdáleného a místního zařízení. Zbývá vyplnit přístupové heslo a potvrzení hesla pro konfiguraci (položky New password a Confirm password). Kliknutím na položku NEXT celou konfiguraci uložíme do vzdáleného adaptéru a poté stejným způsobem konfiguruje místní adaptér.



Obr.10: Konfigurace DHP-300

6.3 Testování DHP-300

Testování adaptérů na přenosovou rychlost a kvalitu spojení datové sítě budu provádět dvěma způsoby. Nejdříve změřím kvalitu datového spojení pomocí příkazu ping a poté budu přenášet soubor o velikosti 260,14 MB z jednoho počítače na druhý. První počítač bude vždy umístěn na stálém místě a druhý (notebook) se bude přenášet od nejbližší až po nejvzdálenější elektrickou zásuvku. Aby nedocházelo ke zkreslení měření, budou oba počítače naformátovány s nově nainstalovanými Windows Vista. Pro přenos souboru použiji na pevně umístěném Pc ftp server (GENE6 FTP Server3.4.0) a na notebooku použiji ftp klient (Total Commander 7.0). Měření provedu v novostavbě rodinného domu, který má elektrické vedení z mědi.

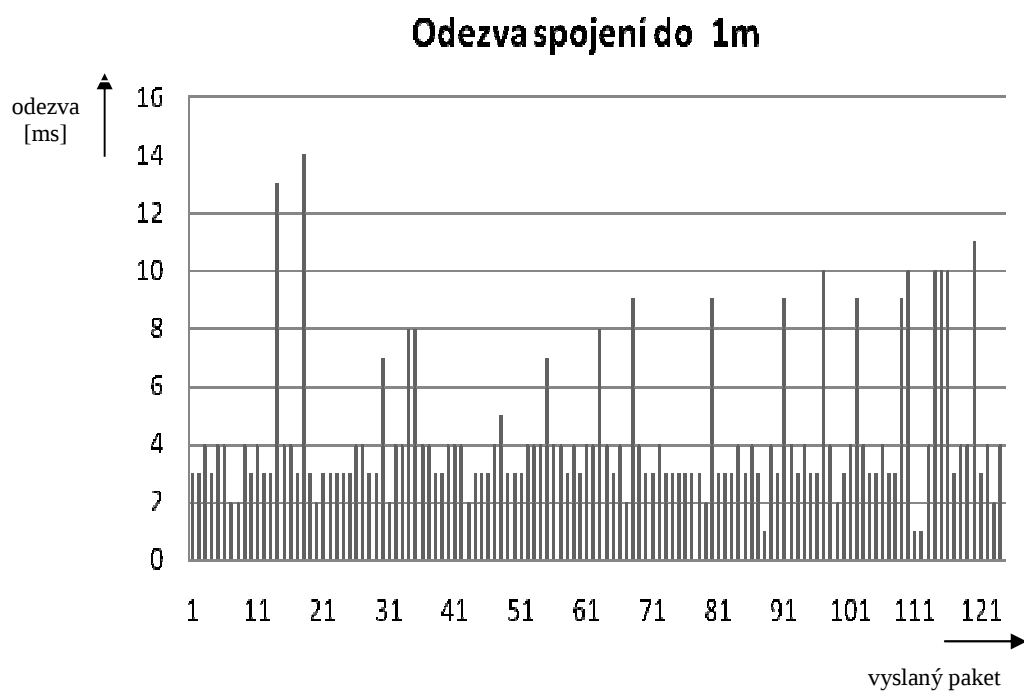
6.3.1 Měření odezvy spojení na stejné fázi elektrického rozvodu

Měření odezvy spojení spočívá v použití příkazu ping z notebooku na stolní PC, které se nachází na stejném místě, a notebook se přenáší až do vzdálenosti 50m. Oba dva počítače jsou připojeny na stejnou elektrickou fázi. Součástí je i měření ztrátovosti odeslaných paketů na dané vzdálenosti, což je vidět v tabulce č. 2.

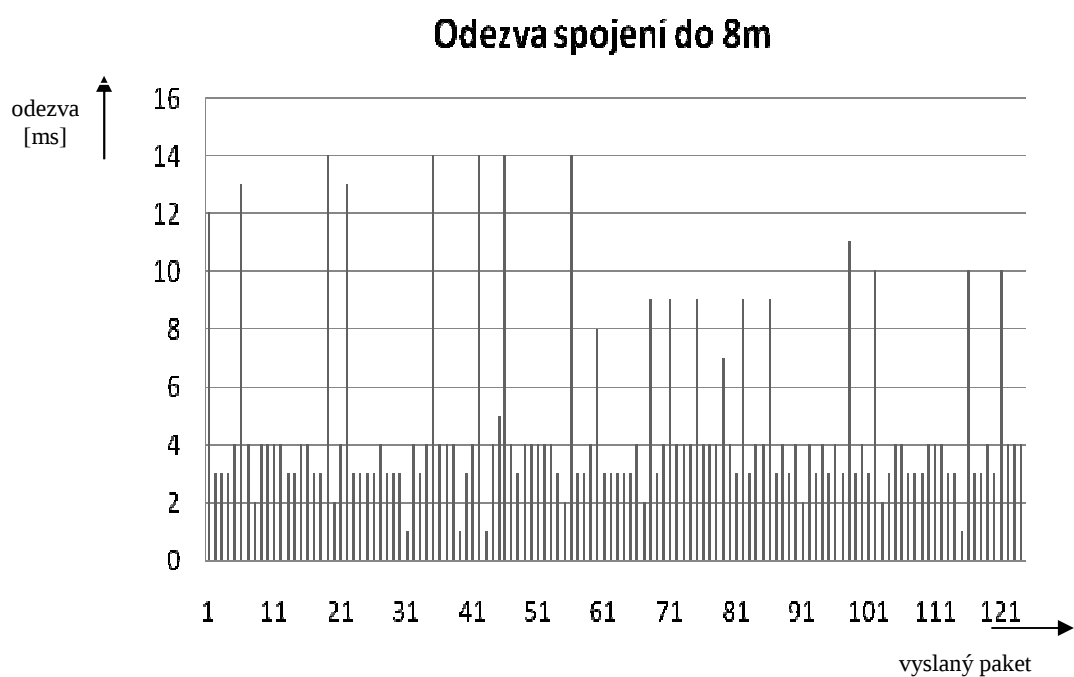
V sérii obrázků A.1 ÷ A.7 je vidět průběh odezvy spojení na vzdálenost od 1m do 50m. Lze vidět, že spojení do vzdálenosti 8m dosahuje stejné minimální, maximální a průměrné hodnoty. (viz. Tabulka č. 2) Spojení pomocí adaptérů PLC nebude nejspíše nikdo v praxi využívat na tak krátkou vzdálenost. Spojení Pc do vzdálenosti 20m a umístění obou Pc ve stejné místnosti lze snadno provést pomocí ethernet kabelů, které nabízí odezvu spojení do 1ms. Praktické využití se nachází na vyšších vzdálenostech a umístění každého Pc v jiné místnosti. Na obrázcích A.3 ÷ A.7 lze pozorovat zvýšení maximální i průměrné odezvy, kde u nejdelší měřené vzdálenosti 50m dochází k výraznému zvýšení odezvy některých paketů. U všech měřených vzdáleností na stejné elektrické fázi je nulová ztrátovost paketů.

Vzdálenost do [m]	Minimální odezva [ms]	Maximální odezva [ms]	Průměrná odezva [ms]	Ztrátovost paketů [%]
1	1	14	4	0
8	1	14	4	0
20	1	12	5	0
24	1	90	5	0
32	1	93	6	0
40	1	60	6	0
50	1	99	7	0

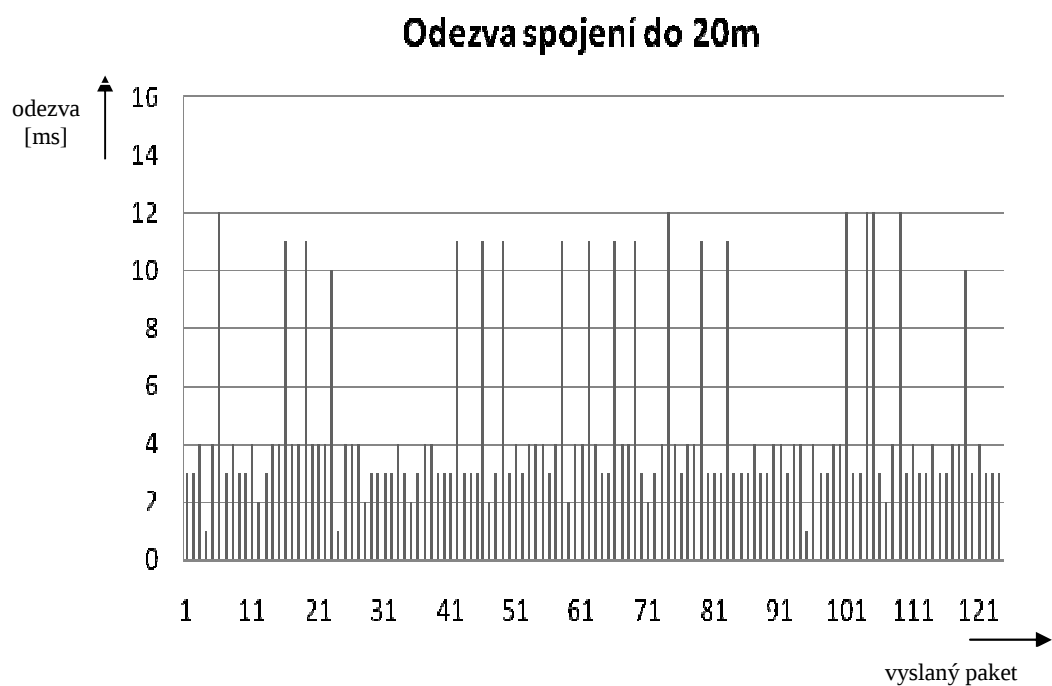
Tabulka 2. Odezva spojení a ztrátovost paketů na stejné fázi elektrického rozvodu



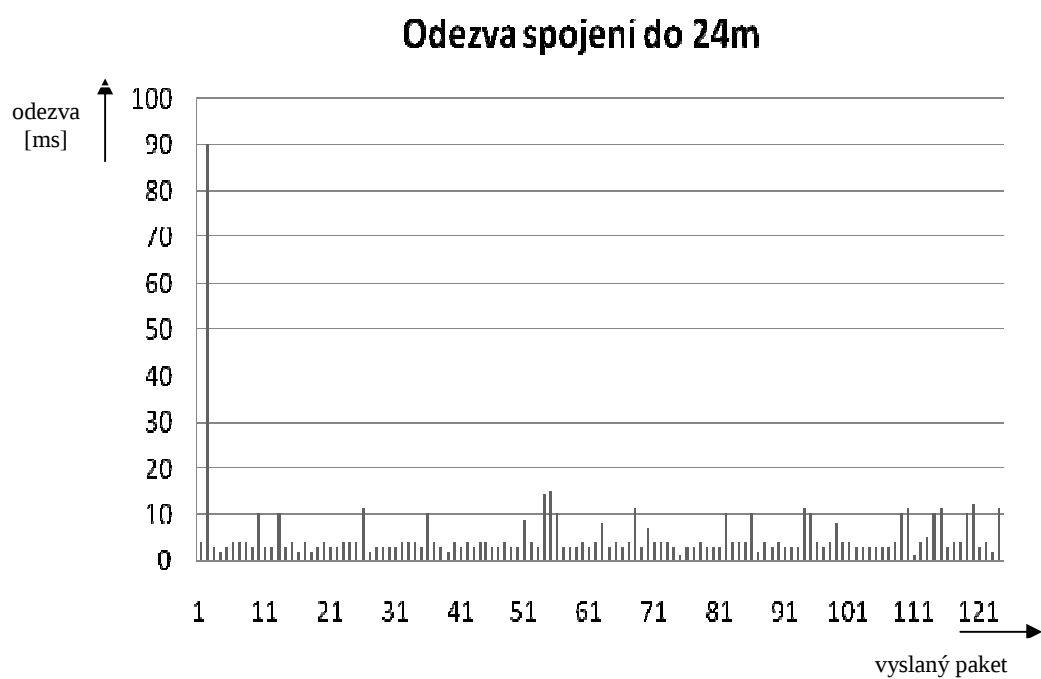
Obr.A.1: Odezva spojení na stejné fázi ve vzdálenosti 1m



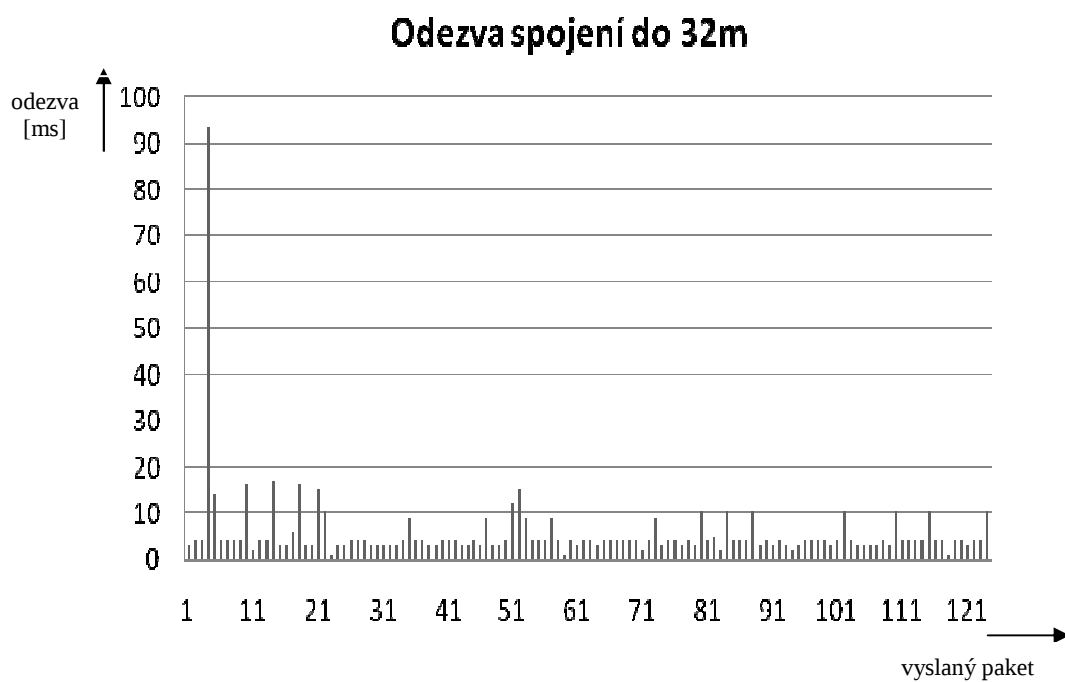
Obr.A.2: Odezva spojení na stejné fázi ve vzdálenosti 8m



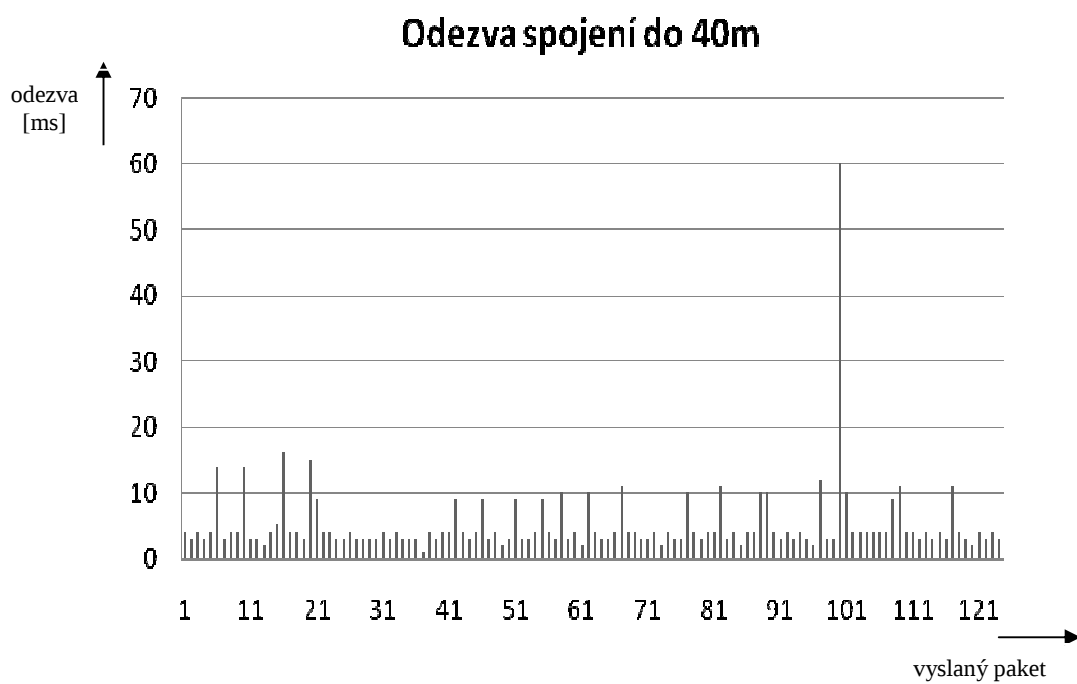
Obr.A.3: Odezva spojení na stejné fázi ve vzdálenosti 20m



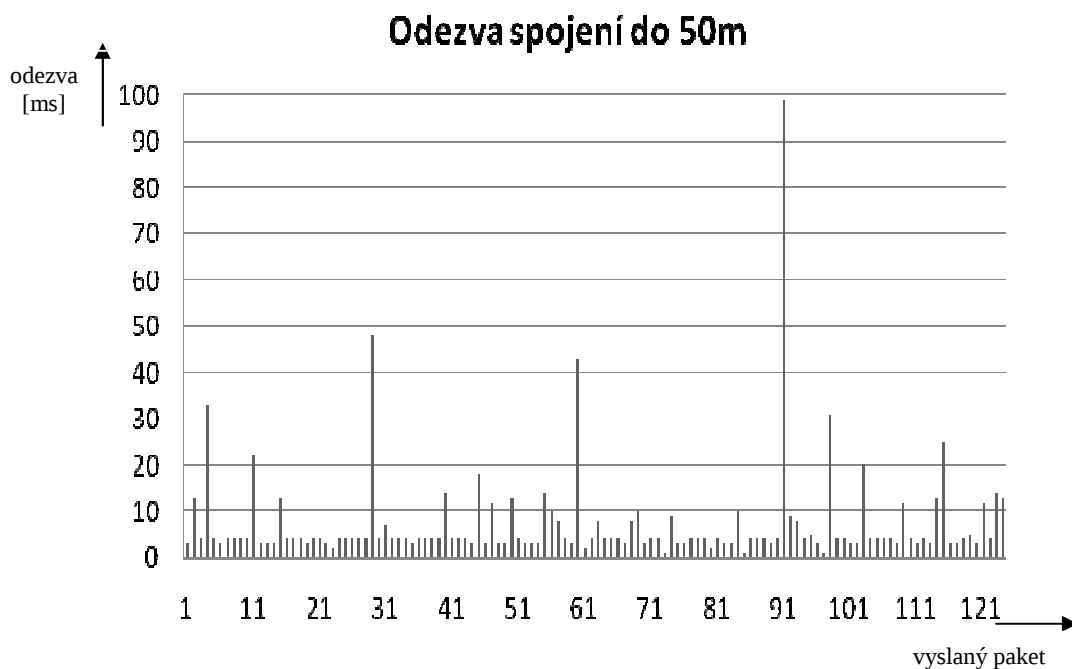
Obr.A.4: Odezva spojení na stejné fázi ve vzdálenosti 24m



Obr.A.5: Odezva spojení na stejné fázi ve vzdálenosti 32m



Obr.A.6: Odezva spojení na stejné fázi ve vzdálenosti 40m



Obr.A.7: Odezva spojení na stejné fázi ve vzdálenosti 50m

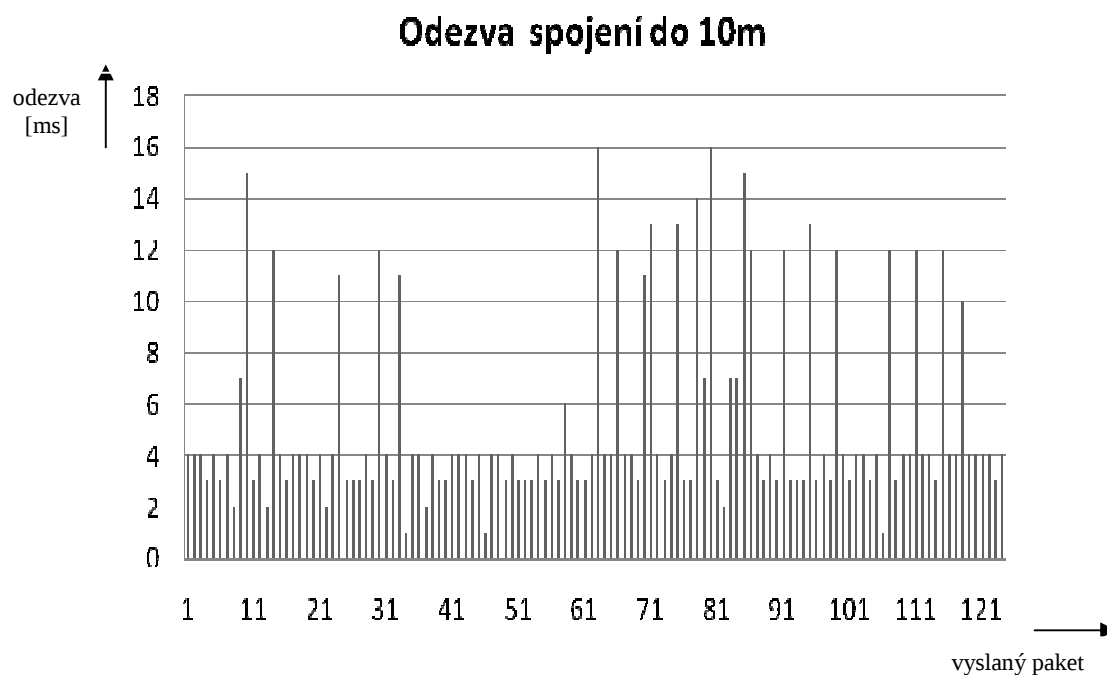
6.3.2 Měření odezvy spojení na jiné fázi elektrického rozvodu

Zařízení DHP-300 je určeno pro komunikaci mezi počítači připojenými do stejné fáze elektrického vedení. V mém případě se adaptéry spojí a dokáží spolu komunikovat, i když každý je na jiné fázi třífázového vedení. V rodinném domě na společném třífázovém vedení tedy dochází k přeslechu datového signálu z jedné fáze na druhou a datové spojení je tudíž realizovatelné.

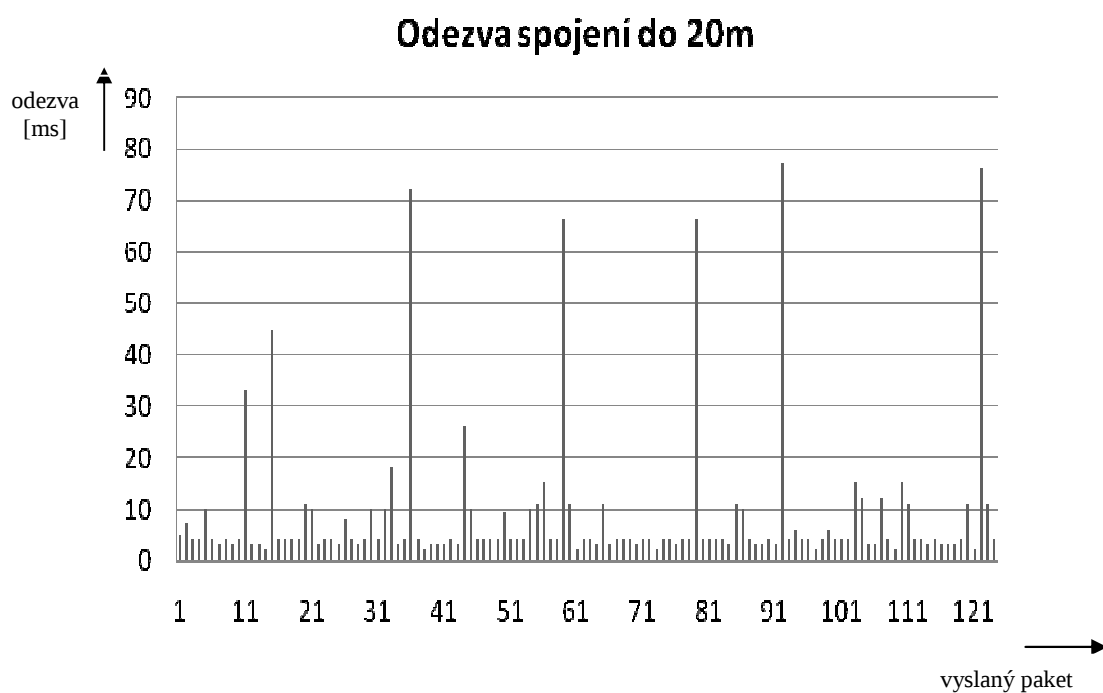
Naměřené hodnoty minimální, maximální, průměrné odezvy a ztrátovost paketů lze vidět v tabulce č.3. V sérii obrázků B.1÷B.3 je zobrazen průběh odezvy jednotlivých paketů do vzdálenosti 40m. Na nejkratší možnou vzdálenost 10m se dokázaly adaptéry DHP-300 spojit s průměrnou hodnotou odezvy 5ms a ztrátovostí 0%. Tyto hodnoty odpovídají spojení na stejné fázi až do vzdálenosti 24m. S rostoucí vzdáleností dochází k výraznému zvýšení odezvy a na nejdelší možné vzdálenosti 40m, kdy adaptéry navážou ještě spojení, je průměrná odezva 77ms a ztrátovost paketů 3%. Na vzdálenosti vyšší než 40m adaptéry DHP-300 nedokáží navázat datové spojení a není tedy možné provést měření odezvy a ztrátovosti datové sítě.

Vzdálenost do [m]	Minimální odezva [ms]	Maximální odezva [ms]	Průměrná odezva [ms]	Ztrátovost paketů [%]
10	1	16	5	0
20	2	77	9	0
40	1	511	77	3

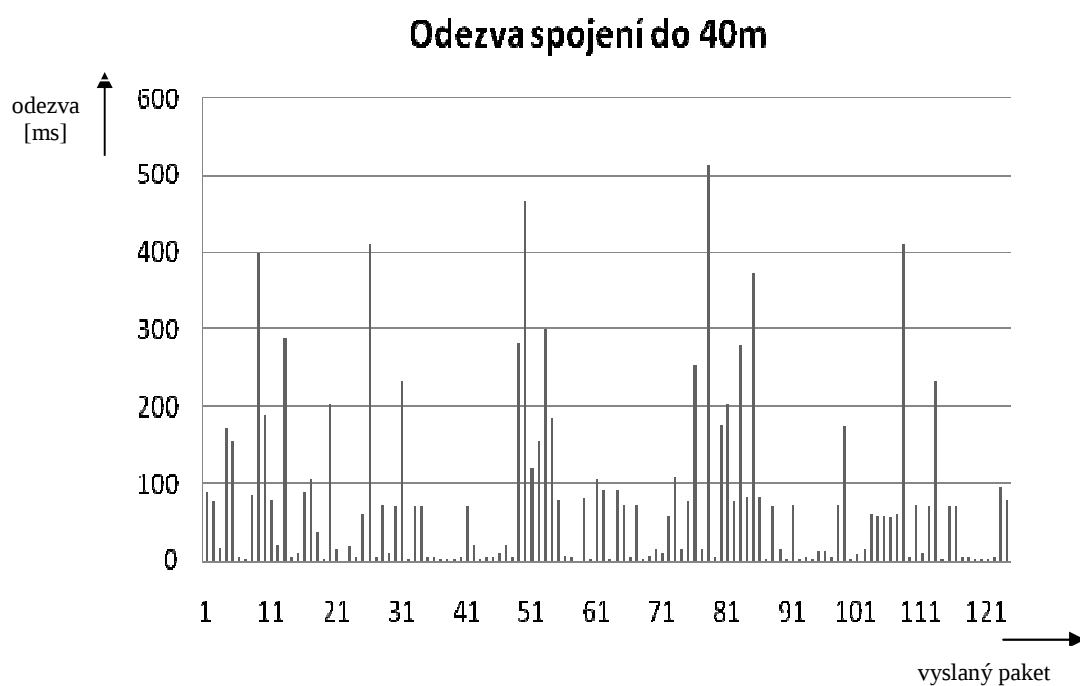
Tabulka 3. Odezva spojení a ztrátovost paketů na stejné fázi elektrického rozvodu



Obr.B.1: Odezva spojení na jiné fázi ve vzdálenosti 10m



Obr.B.2: Odezva spojení na jiné fázi ve vzdálenosti 20m



Obr.B.3: Odezva spojení na jiné fázi ve vzdálenosti 40m

6.3.3 Měření přenosové rychlosti na stejné fázi elektrického rozvodu

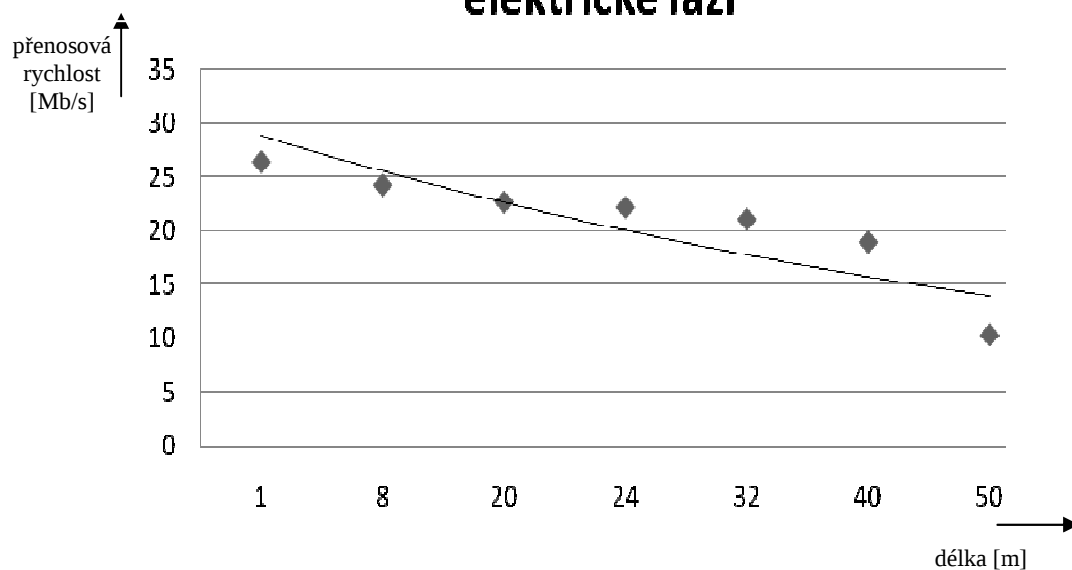
Měření přenosové rychlosti provádím pomocí kopírování jednoho souboru o velikosti 260,14 MB. Na pevně umístěném stolním Pc je vytvořen ftp server pomocí programu GENE6 FTP Server3.4.0 a soubor přenáším na notebook, kde je jako ftp klient použit program Total Commander 7.0. Oba dva počítače jsou připojeny do stejné elektrické fáze jako v bodě 6.3.1. Změřené hodnoty jsem zaznamenal do tabulky č. 4.

Na obrázcích C.1 a C.2 je znázorněna přenosová rychlost spojení v Mb/s a MB/s v závislosti na vzdálenosti až 50m. Nejvyšší dosahovaná rychlost je u přímého spojení dvou PLC adaptérů, která je 26,34 Mb/s. S rostoucí vzdáleností do 40m dochází k rovnoměrnému poklesu přenosové rychlosti. Na vyšší vzdálenosti přenosová rychlost prudce klesá a na vzdálenost 50m je průměrná přenosová rychlost 10,3 Mb/s. Obrázek C. 3 zobrazuje dobu přenosu přenášeného souboru o velikosti 260,14MB.

Vzdálenost do [m]	Přenosová rychlost [Mb/s]	Přenosová rychlost [MB/s]	Doba přenosu souboru [s]
1	26,34	3,29	79
8	24,2	3,02	86
20	22,62	2,83	92
24	22,14	2,77	94
32	21,02	2,63	99
40	18,92	2,36	110
50	10,3	1,29	202

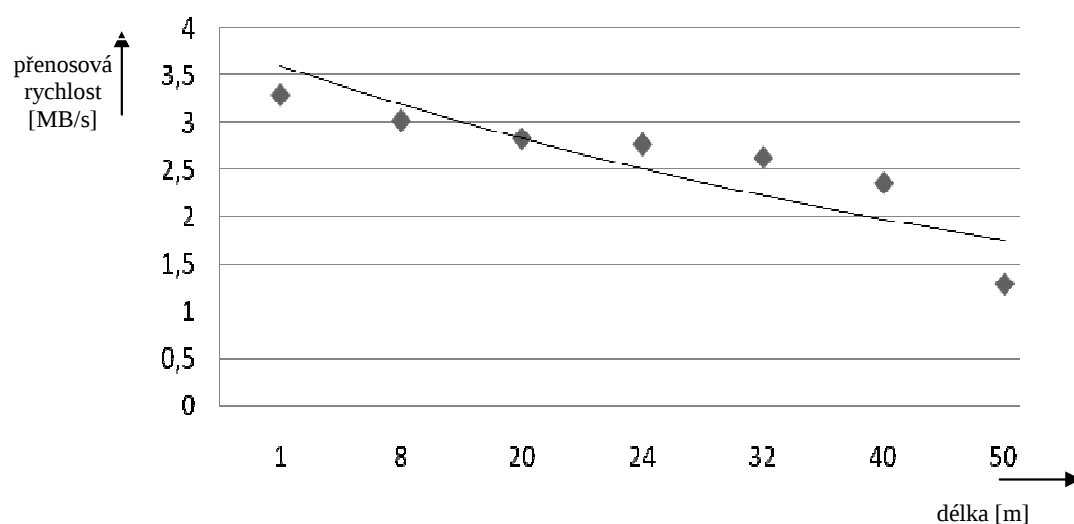
Tabulka 4. Přenosová rychlost spojení na stejné elektrické fázi

Přenosová rychlost na stejné elektrické fázi



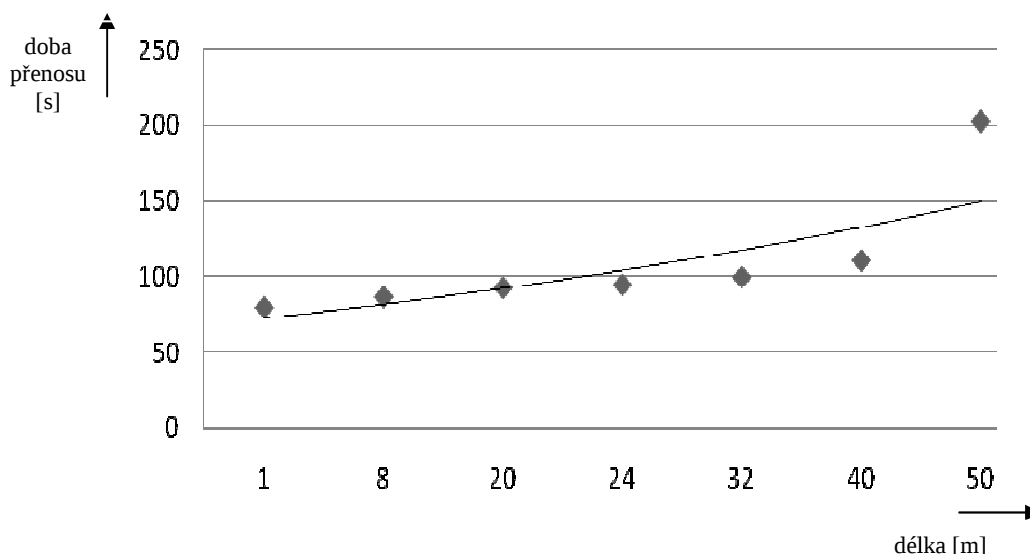
Obr.C.1: Přenosová rychlost na stejné fázi v závislosti na vzdálenosti spojení

Přenosová rychlost na stejné elektrické fázi



Obr.C.2: Přenosová rychlost na stejné fázi v závislosti na vzdálenosti spojení

Doba přenosu souboru na stejné elektrické fázi



Obr.C.3: Doba stahování souboru (260,14 MB) na stejné fázi v závislosti na vzdálenosti spojení

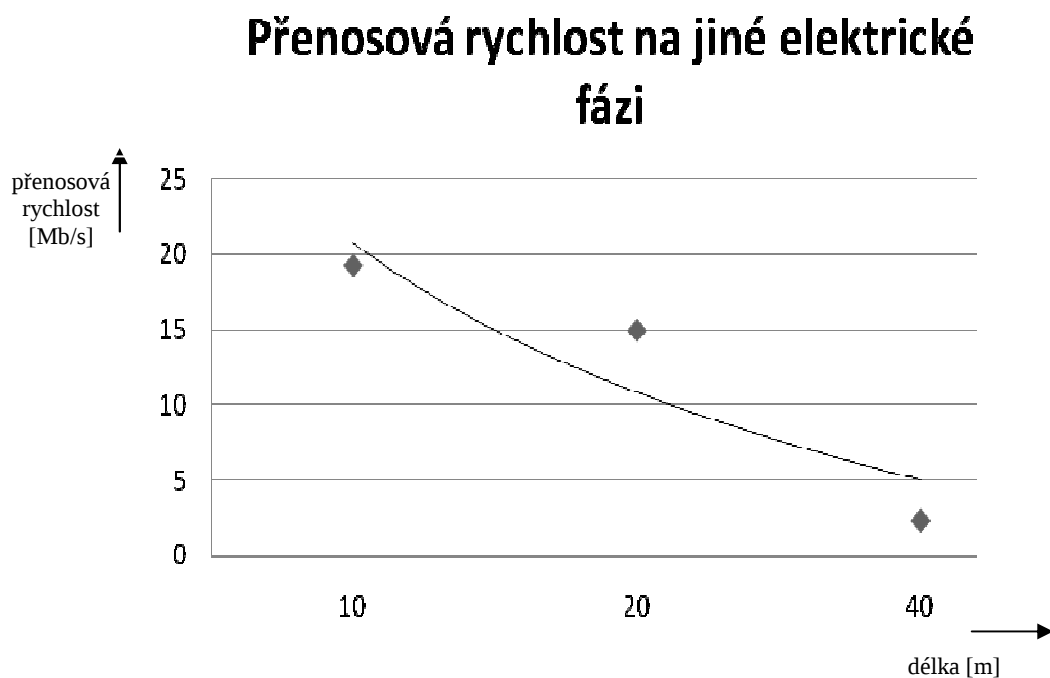
6.3.4 Měření přenosové rychlosti na jiné elektrické fázi

Měření přenosové rychlosti na jiné fázi třífázového elektrického vedení rodinného domu má stejné odůvodnění jako v bodě 6.3.2.

Naměřené hodnoty přenosových rychlostí jsou zaznamenány v tabulce č. 5. Obrázky D. 1 a D. 2 zobrazují přenosovou rychlost (Mb/s a MB/s) v závislosti na vzdálenosti do 40m. Na nejkratší možnou měřitelnou vzdálenost 10m je průměrná přenosová rychlost 19,27 Mb/s, která je srovnatelná s měřením přenosové rychlosti na stejné fázi ve vzdálenosti 40m. S rostoucí vzdáleností poté neúměrně klesá přenosová rychlost a na poslední měřitelné vzdálenosti 40m, kdy PLC adaptéry dokázaly ještě komunikovat, je průměrná přenosová rychlost spojení 2,35 Mb/s. Na této vzdálenosti je znatelná 3% ztrátovost paketů a takováto kvalita spojení není pro přenos dat mezi počítači vhodná.

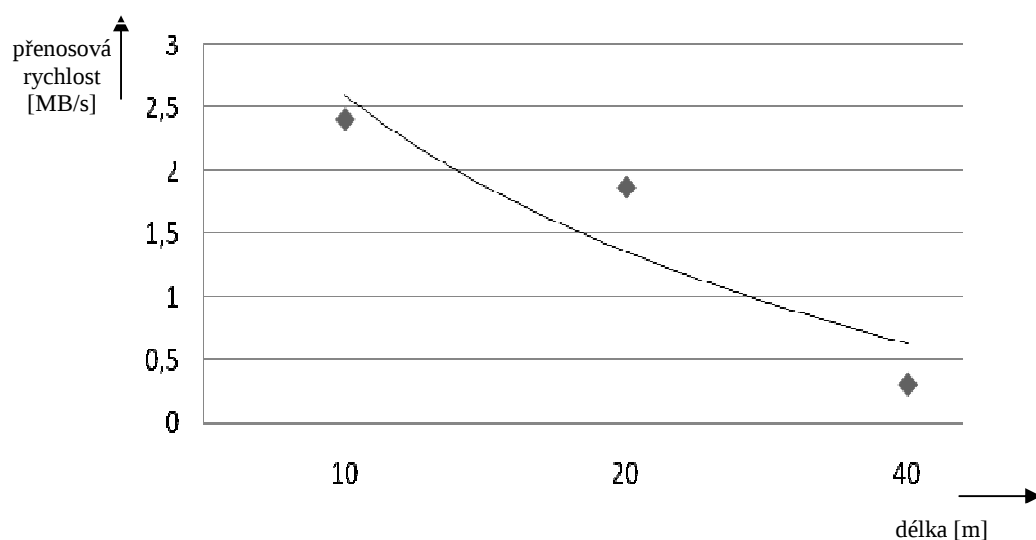
Vzdálenost do [m]	Přenosová rychlost [Mb/s]	Přenosová rychlost [MB/s]	Doba přenosu souboru [s]
10	19,27	2,41	108
20	14,97	1,87	139
40	2,35	0,3	885

Tabulka 5. Přenosová rychlost spojení na jiné elektrické fázi



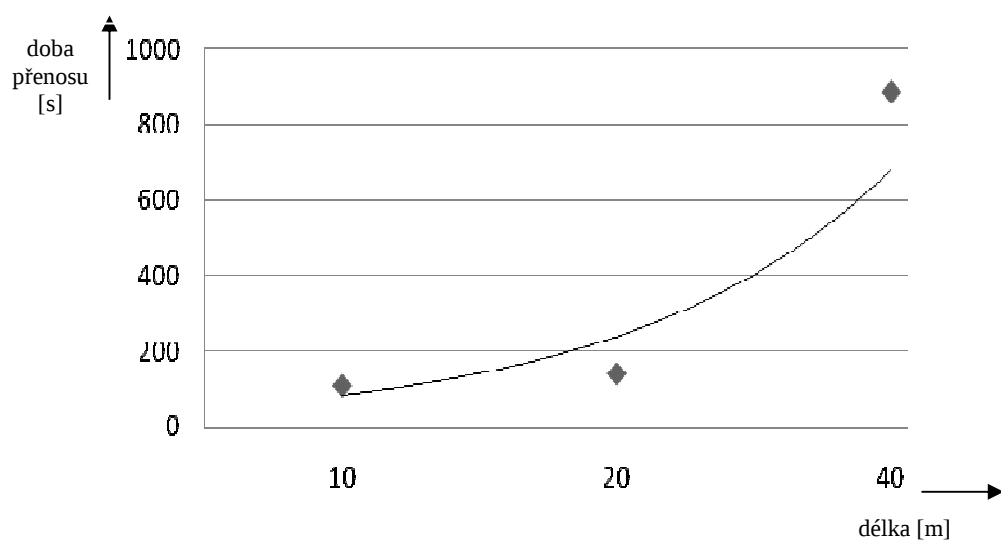
Obr.D.1: Přenosová rychlost na jiné fázi v závislosti na vzdálenosti spojení

Přenosová rychlost na jiné elektrické fázi



Obr.D.2: Přenosová rychlost na jiné fázi v závislosti na vzdálenosti spojení

Doba přenosu souboru na jiné elektrické fázi



Obr.D.3: Doba stahování souboru (260,14 MB) na jiné fázi v závislosti na vzdálenosti spojení

7 ZÁVĚR

V této práci jsem rozvedl problematiku datové komunikace po úzkopásmovém a širokopásmovém PLC. Naznačil jsem široké možnosti využití této technologie a uvedl technická omezení, jako jsou frekvenční pásma, zdroje rušení, impedanční vlastnosti, modulační techniky, problematika datového spojení fází nebo omezení daná normou ČSN EN 50065. Z praktického měřítka jsem změřil PLC adaptéry sloužící pro vytvoření domácí datové sítě.

Hlavním přínosem této práce bych uvedl měření přenosové rychlosti a odezvy spojení v závislosti na vzdálenosti. Při vytvoření datové sítě na stejné elektrické fázi jsem naměřil maximální přenosovou rychlost 26,34 Mb/s, které jsem dosáhl pouze na nejkratší možné vzdálenosti spojení do 1m. Minimální naměřená přenosová rychlost činila 10,3 Mb/s, kterou jsem naměřil na vzdálenosti 50m. U této technologie tedy přenosová rychlost s rostoucí vzdáleností značně klesá a totéž potvrdilo i měření odezvy odeslaných paketů, jehož hodnoty narůstaly s rostoucí vzdáleností spojení. Ztrátovost odeslaných paketů byla nulová na celé délce datového spojení. I přesto, že je tato technologie navrhnutá pro vytvoření datového spojení na stejné elektrické fázi, povedlo se mi vytvořit spojení při zapojení adaptérů na rozdílné elektrické fáze. U třífázového rozvodu rodinného domu, kde probíhalo měření, docházelo k přeslechu datového signálu z jedné fáze na druhou. Přenosové rychlosti a odezvy odeslaných paketů byly ovšem znatelně horší, než u spojení na stejné elektrické fázi.

Adaptéry DHP-300 jsou tedy použitelné pro vytváření malých datových domácích sítí, ovšem za určitých podmínek. Musí být pro uživatele dostačující datová propustnost sítě v rozmezí 10 – 30 Mb/s. Současně je důležité vytvářet datovou síť pouze na stejné elektrické fázi, protože při spojení na různých fázích dochází k znatelnému nárůstu odezvy a ztrátovosti odeslaných paketů. Konkurencí této technologie pro domácí použití může být WiFi technologie, která nabízí srovnatelné reálné přenosové rychlosti. Dostupnost vytvořené WiFi sítě ovšem strmě klesá v domech a zastavěných oblastech. A pokud není vhodné použití utp kabelů pro vytvoření domácí datové sítě, lze doporučit použití zařízení PowerLine DHP-301.

Zadání bakalářské práce bylo splněno a práce podává ucelený pohled o možnostech datové komunikace po silovém vedení nízkého napětí. Jsou zde uvedeny teoretické podklady pro realizaci datové komunikace a její možnosti na silovém vedení s ohledem na úzkopásmová PLC. Z praktické části jsem provedl měření přenosové rychlosti a kvality spojení v závislosti na vzdálenosti s použitím adaptérů DHP-300.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PAVELKA, Ondřej. *Internet ze zásuvky ? Ano, ale...* [online]. 5.9.2000. Dostupný z WWW:
<<http://www.elektrorevue.cz/clanky/00034/index.html#CLuvod>>.
- [2] STEINBAUER, Petr. *Komunikace po silovém vedení : Způsoby řešení* [online]. 5.5. 2000. Dostupný z WWW:
<<http://www.volny.cz/stei/studium/nm/reseni.html#dpl>>.
- [3] *X10 Powerline Carrier (PLC) Technology* [online]. 1998. Dostupný z WWW:
<<http://www.x10.com/support/technology1.htm>>.
- [4] MERUNKA, Mirek. *Měření a regulace : správná aplikace pro data přes elektrická vedení* [online]. 20.10.2004. Dostupný z WWW:
<<http://www.isdn.cz/clanek.php?cid=6069>>.
- [5] *LonWorks* [online]. 18.7.2001. Dostupný z WWW:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/LonWorks>>.
- [6] NĚMEC, Marek. *Síť skrze zásuvku* [online]. 30. 10. 2003. Dostupný z WWW:
<<http://www.zive.cz/default.aspx?section=44&server=1&article=114358>>.
- [7] *Data po elektrické síti* [online]. 13.3.2004. Dostupný z WWW:
<<http://www.etm.cz/index.php?art=168>>.
- [8] VANČATA, Pavel. *Standardizace širokopásmových systémů přenosu po energetickém vedení* [online]. 05. 12. 2005. Dostupný z WWW:
<<http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=&cislocclanku=2005112801>>.
- [9] *D-Link : Building networks for people* [online]. 2004. Dostupný z WWW:
<www.dlink.cz>.