



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

ÚZKOPÁSMOVÝ PŘENOS DAT PO ENERGETICKÝCH SÍTÍCH

NARROWBAND DATA TRANSMISSION OVER THE POWER LINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

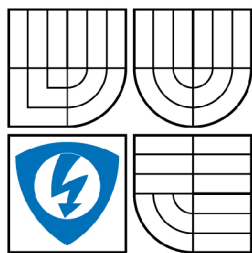
JAROSLAV VALENTA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR MLÝNEK

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Jaroslav Valenta

ID: 98677

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Úzkopásmový přenos dat po energetických sítích

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Sestavte laboratorní pracoviště pro testování datové komunikace po silových vedeních. Provedte měření na laboratorním pracovišti PLC sítě s uvažováním reálných vlivů působících v silové síti. Provedte sadu měření vlivu rušení na datovou komunikaci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Hrasnica, H. Broadband Powerline Communications Networks. John Wiley & Sons, Chichester 2004. ISBN 0-470-85741-2

[2] ModemTec, technická dokumentace modemů PLC. <http://www.modemtec.cz>.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 2.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Petr Mlýnek

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

Tato bakalářská práce se zabývá převážně úzkopásmovým přenosem dat po energetických sítích nízkého napětí. Nejprve jsou rozebrány možnosti, které nám úzkopásmový přenos dat po silových vedeních přináší, dále pak druhy šumů, které nám při komunikaci po PLC (powerline communication) vznikají, poté je pozornost věnována parametrům komunikačního kanálu. Pro zajištění spolehlivé komunikace po PLC, je zapotřebí stanovit vhodnou modulaci, protichybové kódování a šifrování. Tyto parametry jsou v této práci také rozebrány. Poslední část této práce je věnována praktickým měřením a ověřením teoretických poznatků v praxi při testování na laboratorním pracovišti. Je testován vliv datové komunikace na primární funkci silového vedení a nejrůznější vlivy ovlivňující celou komunikaci. Na závěr je provedena sada měření, která zkoumá vliv rušení na datovou komunikaci.

Klíčová slova

úzkopásmový přenos, PLC, modem, silové vedení, měření

Abstract

This bachelor's thesis is focused on narrowband data transmission over power lines. At first are described possibilities of narrowband data transmission over power lines, next the type of noises and then thesis deals with parameters of communication channel. In this thesis are described too modulation, error corection and data encryption for reliable communication. In the last part of thesis are realized practical measuring in laboratory workplace. The influence of data communication on primary function of power lines are tested. In the end are realized measuring of noise influence on data communication.

Key words

narrowband data transmission, PLC, modem, power line, measuring

VALENTA, J. *Úzkopásmový přenos dat po energetických sítích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Mlýnek.

Prohlášení

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

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této 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 Ing. Petru Mlýnkovi za velmi užitečnou metodickou pomoc, trpělivost a cenné rady při zpracování práce.

V Brně dne

.....
podpis autora

OBSAH

ÚVOD	10
1 PŘENOS DAT POMOCÍ PLC	11
1.1 Úzkopásmový přenos dat pomocí PLC	11
1.1.1 Normalizace úzkopásmových služeb	11
1.1.2 Princip úzkopásmového přenosu po PLC	12
2 DRUHY ŠUMU V PLC	13
3 PARAMETRY KOMUNIKAČNÍHO KANÁLU	15
3.1 Primární parametry vedení	15
3.2 Odvozené sekundární parametry vedení	17
4 MODULAČNÍ TECHNIKY	19
4.1 Analogové modulace	19
4.2 Číslicové modulace	20
4.2.1 Úzkopásmové modulace	20
4.2.2 Širokopásmové modulace	20
4.3 Vhodná modulace pro úzkopásmový přenos po PLC	21
5 PROTICHYBOVÉ KÓDOVÁNÍ	22
5.1 Princip bezpečnostních kódů	22
5.2 Vhodný kódovací protokol pro úzkopásmový přenos po PLC	23
6 ŠIFROVÁNÍ V SYSTÉMECH PLC	24
6.1 Symetrické kryptosystémy	24
6.2 Asymetrické kryptosystémy	25
6.3 Vhodný kryptosystém pro úzkopásmový přenos po PLC	25
7 MĚŘICÍ PRACOVNÍŠTĚ	26
7.1 Modem MT23-R	27
7.1.1 Základní parametry	28
7.1.2 Popis modemu	28
7.1.3 Sběrnice modemu MT23R	29
7.1.4 Programovací stav	30
7.2 Ostatní komponenty měřicího pracoviště	31
8 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ	32
8.1 Konfigurace a nastavení modemu v prostředí Windows	32
8.2 Nastavení programu Hyperterminál pro přenos souboru	33
8.3 Zobrazení spekter	35
8.4 Měření vlivu datové komunikace na primární funkci silového vedení	36
8.5 Měření přenosové rychlosti	37
8.5.1 Konfigurace a nastavení převodníku v prostředí Windows	38
8.5.2 Vytvoření virtuálního sériového portu	39
8.5.3 Měření přenosové rychlosti	41

8.5.4	Vliv poklesu napětí v síti na přenosovou rychlost	41
8.6	Měření vlivu rušení	43
ZÁVĚR		47
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		48
SEZNAM OBRÁZKŮ		49
SEZNAM TABULEK		49
SEZNAM POUŽITÝCH ZKATEK		50

ÚVOD

Komunikace po energetických sítích (PLC Powerline communications) využívá pro přenos dat stávající elektrickou síť. Jelikož je elektrická síť velmi rozšířená a dosahuje k uživatelům jakéhokoliv druhu, je její použití z hlediska dostupnosti značně výhodné. Přenos dat po energetické síti může uživateli poskytovat různé druhy služeb, např. připojení k internetu, řízení vytápění, klimatizace a osvětlení, ovládání elektrických domácích spotřebičů na dálku. Elektrickou síť lze také využít i pro aplikace, které by šly prostřednictvím jiného druhu komunikace realizovat jen stěží. Dále mohou tento typ komunikace využít například energetické společnosti, pro dálkové odečítání hodnot z elektroměrů. V energetických sítích může být realizován jak úzkopásmový, tak i širokopásmový přenos dat. Tato práce se však bude převážně zabývat úzkopásmovým přenosem dat po energetických sítích nízkého napětí. V této budou nejprve rozebrány možnosti, které nám úzkopásmový přenos dat po silových vedeních přináší, dále pak druhy šumů, které nám při komunikaci po PLC vznikají, poté bude pozornost věnována parametrům komunikačního kanálu. Aby nám komunikace po PLC fungovala spolehlivě, je zapotřebí stanovit vhodnou modulaci, protichybové kódování a šifrování. Tyto parametry v této práci budou také rozebrány. Poslední část této práce bude věnována praktickým měřením a ověřením teoretických poznatků v praxi při testování na laboratorním pracovišti.

1 PŘENOS DAT POMOCÍ PLC

Princip přenosu dat po silových vedení spočívá v tom, že galvanickým oddělením a odfiltrováním například (230V, 50Hz), můžeme po silovém vedení přenášet signály vyšších frekvencí, které mohou díky vhodnému modulování přenášet číslicová data. V napájecí síti ale probíhají různé druhy dějů, pro přenos datových signálů značně nepříznivých. Paří mezi ně například rušení, které bude v této práci ještě dále rozebráno. Z těchto důvodů je třeba důkladné porozumění parametrům komunikačního kanálu. Dále je třeba stanovit vhodnou modulaci a protichybové kódování. Všechny tyto aspekty budou v této práci také podrobně rozebrány. Jak už bylo zmíněno v úvodu této práce, přenos dat po silových vedení rozdělujeme na úzkopásmový přenos a přenos širokopásmový. Tato práce se však bude zabývat převážně přenosem úzkopásmovým. [3]

1.1 Úzkopásmový přenos dat pomocí PLC

Úzkopásmový přenos dat po silových vedeních se využívá nejen pro dálková měření, ale také pro dálkové ovládání například domovního topení, klimatizace, některých domácích spotřebičů a audiovideotechniky. Mezi specifické služby úzkopásmového přenosu po PLC, jak už bylo zmíněno v úvodu, patří také 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. Úzkopásmové přenosy jsou realizovány pomocí malých rychlostí v řádech několika stovek kbps. To nám ale nevadí, protože tyto rychlosti jsou pro výše zmíněné služby dostačující. Mezi výhody úzkopásmového přenosu dat po PLC paří to, že se nemusí budovat žádná přenosová trasa a přenos informací není nijak zpoplatněn. Jako nevýhodu lze uvést že silové vedení má jako komunikační kanál značně proměnné parametry, které mohou způsobit velké problémy při přenosu, případně znemožnit přenos úplně. [1]

1.1.1 Normalizace úzkopásmových služeb

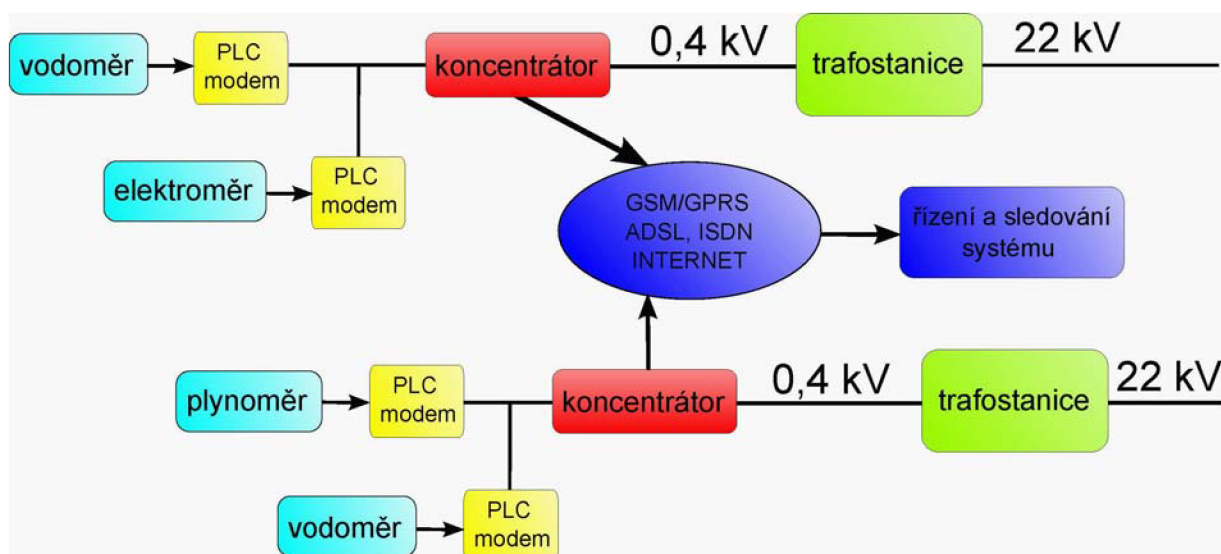
V České republice se úzkopásmový přenos dat po energetických sítích řídí normou CENELEC EN 50065. Rozdělení kmitočtů pak ukazuje následující tabulka. [2]

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

tabulka 1.1: Rozdělení kmitočtů.

1.1.2 Princip úzkopásmového přenosu po PLC

Základním bodem celé přenosové soustavy je PLC modem, který je přiřazen určitému měřicímu zařízení, jako je například elektroměr, vodoměr, plynoměr nebo nějaké jiné zařízení. PLC modem může být už také přímo součástí měřicího zařízení. Modem posílá data po silovém vedení do koncentrátoru. Do koncentrátoru se ukládají data v rámci okruhu jednoho transformátoru, protože transformátor je pro data přenášená pomocí PLC nepřekonatelnou překážkou. Koncentrátor pak data odesílá do řídicího systému. Řídicí systém poté provádí vyhodnocení naměřených dat. Koncentrátory se umísťují v blízkosti trafostanice na stranu nižšího napětí. PLC modem by se kvůli svému dosahu neměl nacházet ve vzdálenosti větší, než 3 km od koncentrátoru, aby nedošlo ke ztrátě přenášených dat. Základní princip přenosu je zobrazen na obrázku 1.1. [4]



obrázek 1.1: Princip úzkopásmového přenosu dat.

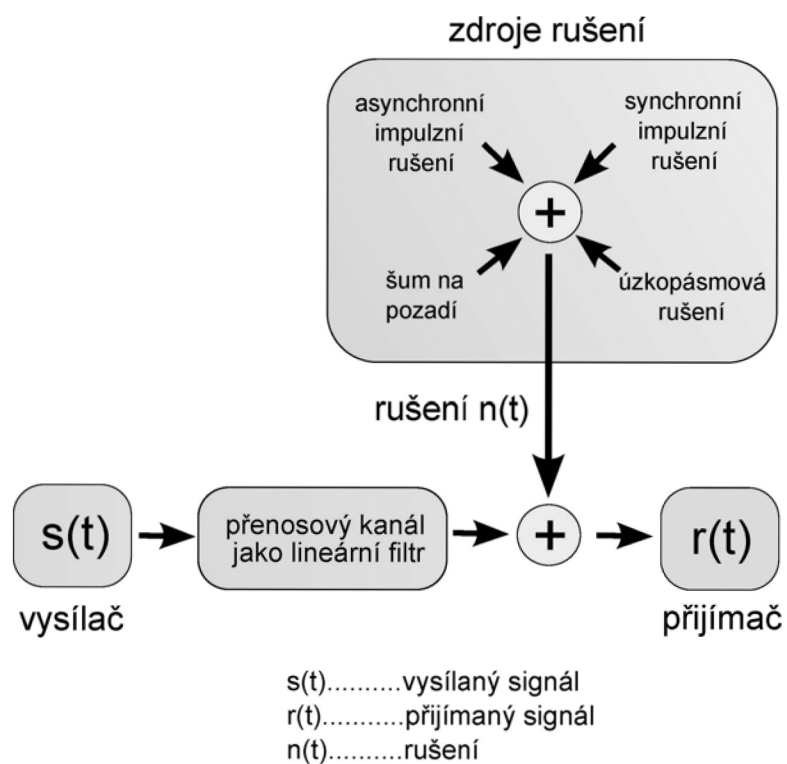
2 DRUHY ŠUMU V PLC

V případě systémů PLC je potřeba problematiku rušení rozdělit, stejně jako u jiných technologií, na dvě části. Zařízení PLC může buď být objektem rušení produkovaného jinými zařízeními nebo naopak může samo být zdrojem rušení pro ostatní zařízení ve své blízkosti. V systémech PLC se vyskytují 3 základní druhy šumu.

- a) **Šum na pozadí** – je přítomen v síti vždy, vzniká skládáním velkého počtu zdrojů rušení o nízké intenzitě a jeho parametry jsou proměnné v čase. Je možné ho popsat spektrální výkonovou hustotou (PSD - Power Spectral Density), která s rostoucím kmitočtem klesá. Hodnoty PSD jsou vysoké v rozsahu řádově od desítek Hz do 20 kHz. Na 150 kHz je úroveň PSD řádově tisíckrát nižší než na frekvenci 20 kHz. Na vyšších frekvencích se pak již objevují pouze nízké hodnoty PSD tzv. bílého šumu.

- b) **Úzkopásmové rušení** – jeho průběh má tvar úzkých špiček s vysokou PSD. Na frekvencích do 150 kHz ho způsobují zejména spínané procesy, měniče frekvence, zářivky, televize a počítačové monitory. Na vyšších frekvencích toto rušení pak pochází od rozhlasových stanic vysílajících ve středovlnném a krátkovlnném pásmu. Amplituda rušení se může měnit během dne, neboť jak je známo u středovlnného vysílání dochází v noci k zlepšení pokrytí díky odrazům ve stratosféře.

- c) **Impulzní rušení** - způsobují ho spínané zdroje, tyristorové regulátory či kolektorové elektromotory. Vyskytuje se v energetických sítích proto velmi často a je charakteristické krátkými napěťovými špičkami o délce trvání od jednotek do stovek μs , někdy až do jednotek ms, které běžně dosahují úrovně PSD o 10 dB, někdy až o 50 dB, více než šum na pozadí. Impulzní rušení rozdělujeme na dva druhy:
 - Asynchronní* – způsobují ho spínací prvky v distribuční síti
 - Synchronní* – nejčastěji je způsobováno napěťovými konvertory, stmívači.[5]



obrázek 2.1: Zobecněné schéma PLC přenosové cesty a možných zdrojů rušení.

3 PARAMETRY KOMUNIKAČNÍHO KANÁLU

Nemělo by se zapomínat, že prvotním posláním silového vedení je především distribuce elektrické energie o kmitočtech řádově v desítkách Hz. Pro přenos informací je to komunikační kanál značně nestabilní. Nestabilita je způsobena především kvůli značné různorodosti spotřebitelů a zařízení, které se připojují ke koncovým elektrickým zásuvkám. Pro efektivní komunikaci je tedy nezbytné důkladně porozumět charakteristikám kanálu, které jsou popsány různými parametry. Rozlišují se základní dva druhy parametrů. Primární parametry vedení a odvozené sekundární parametry vedení.

3.1 Primární parametry vedení

Mezi primární parametry silových vedení patří rezistance, indukčnost, konduktance a kapacita.

Rezistance [Měrný odpor R ($\Omega \cdot km^{-1}$)]

Velikost rezistance stanovují rezistivita, jmenovitý průřez a délka vedení. Vedle těchto tří veličin mají na rezistanci vliv také teplota, nerovnoměrnost průřezu, spoje vodičů, odchylky od jmenovitého průřezu, kroucení drátů v lanech, průhyb zavěšených vodičů a u střídavého proudu také skin efekt. Vliv materiálu na rezistanci je vyjádřen rezistivitou. Při ustáleném proudu a teplotě vodiče je jeho rezistance

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

kde ρ_0 ... rezistivita při teplotě ϑ_0
 l délka vodiče
 S plocha průřezu vodiče.

Vliv rozdílné teploty na rezistanci oproti teplotě ϑ_0 se uvažuje pomocí vztahu

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

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

Indukčnost [Měrná indukčnost L ($mH \cdot km^{-1}$)]

Indukčností vyjadřujeme vliv magnetického pole od proudů ve vodičích na daný vodič. U vícevodičových vedení, vzhledem k nevelké vzdálenosti vodičů, vznikají vzájemně magneticky vázané proudové obvody jednotlivých vodičů, tj. časově proměnné magnetické pole od proudu v jednom vodiči způsobuje indukci napětí

nejen v tomto vodiči, ale i v ostatních vodičích. V případě trojfázových symetrizovaných 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 vzájemné indukčnosti a proudů v příslušných obvodech. Indukčnost vedení je dána vztahem

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

kde

- μ_0 permeabilita vakua
- μ_{rv} relativní permeabilita
- l_1 délka vodiče
- d osová vzdálenost vodičů
- r poloměr vodiče
- μ_r permeabilita

Protože je obvyklé udávat indukčnost vedení v jednotkách mH/km, dosadíme do předchozího vztahu $l_1 = 1000$ m, vyčíslíme permeabilitu vakua $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m a relativní permeabilitu pro vnější magnetický obvod $\mu_{rv} = 1$, a převedeme přirozený logaritmus na dekadický. Obdržíme:

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

kde

- d osová vzdálenost vodičů
- r poloměr vodiče
- μ_r permeabilita

kde μ_r je relativní permeabilita materiálu vodičů. Druhý člen představuje složku indukčnosti od magnetického toku uvnitř vodiče, která je nezávislá na poloměru i vzdálenosti vodičů.

Konduktance [Měrný svod G ($\mu S \cdot km^{-1}$)]

Konduktance G_K , reálná složka příčné admitance, způsobuje ztráty činného výkonu (tzv. příčné ztráty), které závisí málo na zatížení, ale značně na napětí a povětrnostních vlivech. Nelze je vyjádřit přesnými matematickými vztahy. Při běžných výpočtech ustáleného stavu na vedení se konduktance obvykle zanedbává.

Kapacita [Měrná kapacita C (nF.km-1)]

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. Pro provozní kapacitu dvou vodičového, souměrného, izolovaného vedení přibližně platí

$$C_p \cong \frac{2\pi \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0}{\ln \frac{d}{r}} [\text{nF} / \text{km}], \quad (3.5)$$

kde

ε_r relativní permitivita
 ε_0 permitivita materiálu vodiče
 d osová vzdálenost vodičů
 r poloměr vodiče

3.2 Odvozené sekundární parametry vedení

Induktivní reaktance

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

kde

f frekvence
 L indukčnost

Kapacitní susceptance

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

kde

f frekvence
 C kapacita

Podélná impedance

Podélnou impedanci i příčnou admitanci je zvykem vyjadřovat v jednotkách na 1 km délky

$$z_k = R_k \cdot jX_k [\Omega / \text{km}], \quad (3.8)$$

kde

R_k rezistance vedení na jednotku délky
 X_k indukivní reaktance vedení na jednotku délky

Příčná admitance

$$y_k = G_k \cdot jB_k [S / km], \quad (3.9)$$

kde

G_kkonduktance vedení na jednotku délky

B_kkapacitní susceptance vedení na jednotku délky

Vlnová impedance

$$Z_c = \frac{U}{I} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} [\Omega], \quad (3.10)$$

kde

Rrezistance

ωúhlová rychlost

Lindukčnost

Gkonduktance

Ckapacita

Konstanta přenosu

$$\gamma = \frac{\Delta U}{U\Delta I} = \frac{\Delta I}{I\Delta I} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta [S], \quad (3.11)$$

kde

αútlum

βfázová konstanta

Se někdy též nazývá činitel šíření a charakterizuje dané vedení z hlediska vlnových pochodů na vedení. Je závislá na jeho parametrech. [6]

4 MODULAČNÍ TECHNIKY

Abychom mohli přenášet informace po silovém vedení, je třeba mimo jiné zvolit vhodnou modulační techniku. Modulační techniky můžeme rozdělit na analogové modulace a číslicové modulace. V současné době se však v systémech PLC používají výhradně číslicové modulace a to buď úzkopásmové, nebo širokopásmové.

4.1 Analogové modulace

Amplitudová modulace (AM)

Amplitudová modulace se používá při rozhlasovém vysílání na středních a dlouhých vlnách. Konceptně je zastaralá, její úloha při rozvoji oboru však byla obrovská. Levné přijímače umožnily rychlý rozvoj radiotechniky v jejich počátcích. Amplitudová modulace má, oproti signálu v základním pásmu, dvojnásobnou šířku spektra. Ještě horší je, že většina výkonu modulovaného signálu připadá na signál nosný, který se přímo nezúčastňuje přenosu informace. V důsledku toho jsou systémy s amplitudovou modulací málo odolné proti rušení.

Kmitočtová modulace (FM)

Při tomto typu modulace je modulačním signálem řízen okamžitý kmitočet modulovaného signálu. Kmitočtová modulace se používá při rozhlasovém vysílání. Šířka spektra je několikrát větší, než šířka spektra modulačního signálu. Kmitočtová modulace má také velmi dobrou odolnost proti vlivu rušivých signálů. Pod jistou prahovou hodnotou poměru signál šum, asi 12 dB, však kvalita výstupního signálu demodulátoru prudce klesá. Říká se tomu prahový jev. O kmitočtové modulaci lze říci, že je konceptně zastaralá a je na ústupu.

Fázová modulace (PM)

Při tomto typu modulace se mění fáze nosné vlny. Amplituda i kmitočet nosné vlny zůstávají zachovány.

4.2 Číslicové modulace

4.2.1 Úzkopásmové modulace

Amplitudové klíčování (ASK)

Amplitudové klíčování nemá ve své základní podobě vhodné vlastnosti, proto se v praxi nepoužívá.

Kmitočtové klíčování (FSK)

Signálové prvky jsou u tohoto druhu klíčování tvořeny úseky délky T kosinusovky. Nule může odpovídat signálový prvek s vyšším kmitočtem, jedničce signálový prvek s nižším kmitočtem. FSK se používá jako velmi bezpečná metoda přenosu. Jejimi nevýhodami ale jsou vyšší cena zařízení, vyšší energetická náročnost a pomalejší datový přenos. Z těchto důvodů se FSK modulace používá převážně v systémech s požadavky na vysokou bezpečnost přenosu.

Fázové klíčování (PSK)

U dvoustavového fázového klíčování BPSK (Binary Phase Shift Keying) je informace kódována pomocí změny fáze vysílaného signálu. Z tohoto druhu klíčování vychází ještě další, jako jsou například QPSK, OQPSK, M-PSK a $\pi/4$ -QPSK.

Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK)

Gaussovská modulace minimálním zdvihem je odvozená od dvoustavové frekvenční modulace FSK. Při přenosových rychlostech přesahujících 2Mbps přenášený signál lépe odolává úzkopásmovému a impulsnímu rušení. [7]

4.2.2 Širokopásmové modulace

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Modulační metoda OFDM spočívá v použití několika stovek až tisíců nosných kmitočtů. Nosné jsou dále modulovány dle potřeby různě robustními modulacemi QPSK, 16-QAM nebo 64-QAM. Jednotlivé nosné jsou vzájemně ortogonální, takže maximum každé nosné by se mělo překrývat s minimy ostatních. Datový tok celého kanálu se tak dělí na stovky dílčích datových toků jednotlivých nosných. Výhodou modulace OFDM je to, že v reálném čase dokáže vyhodnotit, jak moc se na komunikačním kanále projevují poruchy, rušení a jiné nepříznivé vlivy. To znamená, že pokud bude nějaký kanál příliš poškozen, je možné na něm omezit bitový přenos, popřípadě ho nepoužívat pro přenos vůbec. Přenosová

kapacita kanálu, se tedy mění v závislosti na změně působení nežádoucích vlivů na přenosový kanál. [8]

4.3 Vhodná modulace pro úzkopásmový přenos po PLC

Volba vhodné modulační techniky pro daný komunikační systém silně závisí na prostředí a charakteristických rysech přenosového kanálu. Na silovém vedení se totiž vyskytují jevy, které jsou pro přenos signálu nepříznivé. Pro úzkopásmový přenos dat po silových vedeních přichází v úvahu několik druhů modulačních technik. Použité modulace musí být odolné proti rušení. Nejvýhodnějším z hlediska realizace jsou úzkopásmové modulace, jako jsou například frekvenční klíčování (FSK) a fázové klíčování (PSK). Tyto modulace jsou vhodné především pro nízké bitové rychlosti v řádu desítek kbit/s. Toto nám ale nevadí, jelikož tato rychlost je pro přenos telemetrických údajů dostačující. Dále se nám ještě nabízí použití širokopásmové modulace OFDM, která je oproti výše zmíněným úzkopásmovým modulacím náročnější na realizaci, ale je u ní velice zajímavá schopnost v reálném čase vyhodnocovat poruchy na komunikačním kanále, což vzhledem k charakteru silového vedení, jakožto komunikačního kanálu s výskytem častých poruch, je velmi výhodné. [9]

5 PROTICHYBOVÉ KÓDOVÁNÍ

Abychom zajistili spolehlivý přenos informací po PLC, je důležité také protichybové kódování, které nám zajistí detekci a opravu chyb vzniklých při přenosu. Ochranou vůči této hrozbě jsou bezpečnostní kódy.

5.1 Princip bezpečnostních kódů

Principem bezpečnostních kódů je to, že vysílací kodér podle předem stanovených pravidel vloží do zprávy k informačním bitům kontrolní bity. Dekodér na přijímací straně ověří zda přijaté kontrolní bity stanoveným pravidlům vyhovují. Pokud ano, tak kodér kontrolní bity odstraní a informační bity předá nadřazené vrstvě. V opačném případě existují dvě možnosti. V prvním případě bezpečnostní kód umožní chyby jen detekovat (detekční kód). V tomto případě si dekodér vyžádá od vysílače opakování zprávy. Ta je opakována dokud není detekována žádná chyba nebo dokud se nepřekročí stanovený maximální počet opakování. Popsaný postup se označuje jako protokol ARQ (Automatic Repeat Request). V druhém případě použitý kód umožňuje chybu nejen detekovat, ale umožňuje chybu i nalézt a následně opravit (korekční kód). Popsaný protokol se nazývá FEC (Forward Error Control).[10]

Protokol ARQ

Při použití tohoto protokolu se vysílaná zpráva rozdělí do třímístných bloků. Po vyslání bloku se vysílač odmlčí. Přijímací strana zkontroluje, zda výsledná parita (poměr logických nul a jedniček) odpovídá poměru 4:3. Poté vysílač na přijímací straně skupinu buď potvrdí, nebo vyžádá opakování. Jelikož protokol ARQ nedokáže chyby opravit, používá se hlavně v kanálech z nízkou chybovostí, kde je pravděpodobnost výskytu chyby a tudíž opakování zprávy velmi nízká.[11]

Protokol FEC

Je to široce užívaná metoda k tomu, aby zlepšila kvalitu v komunikačních a akumulacích systémech. U této metody se provádí korekce přenosových chyb na straně přijímače, bez potřeby přijímání dodatkových informací z vysílače. Hlavním úkolem FEC je přidat určité množství nadbytečnosti k přenášené informaci. Tato nadbytečnost pak může být využita přijímačem k opravě chyb, které při přenosu vznikly. Jelikož protokol FEC je schopen na rozdíl od protokolu

ARQ chyby i opravit, využívá se převážně v kanálech s vysokou chybovostí, kde je pravděpodobnost bezchybného přenosu velmi nízká. [12]

5.2 Vhodný kódovací protokol pro úzkopásmový přenos po PLC

Po PLC lze přenést pouze malé množství souvislých informací, než dojde k chybám a proto se přenos realizuje ve velmi krátkých časových rámcích. Zatímco v jiných typech sítí se na spojové vrstvě vystačí s detekcí chyb, u PLC jako nespolehlivé síťové infrastruktury je třeba kromě mechanismů detekce chyb použít i mechanismy opravné. Proto je obecně pro datové přenosy po silových vedeních a tedy i pro úzkopásmový přenos po PLC vhodné použít protokol FEC. [1]

6 ŠIFROVÁNÍ V SYSTÉMECH PLC

Z příčiny sdílení elektrické sítě více uživateli je zapotřebí zabezpečit přenášená data vhodným šifrováním a to z toho důvodu, aby se neoprávněné osoby nedostaly k přenášeným datům. Šifrovací (kryptografické) systémy dělíme na kryptografické systémy s tajným klíčem (symetrické kryptosystémy) a kryptografické systémy s veřejným klíčem (asymetrické kryptosystémy). U šifrovacích systémů klademe důraz buď na **autentičnost**, to znamená, že přenášená data jsou původní, pochází od uvedeného zdroje a vznikla v uvedeném čase. Nebo klademe důraz na **důvěrnost**, to znamená, že přenášená data jsou dostupná pouze oprávněným uživatelům.

6.1 Symetrické kryptosystémy

V systémech s tajným klíčem komunikující strany musí držet šifrovací a dešifrovací klíč v tajnosti. Důvodem je skutečnost, že dešifrovací klíč je buďto stejný jako šifrovací, nebo je z šifrovacího klíče relativně snadno odvoditelný. Systémy s tajným klíčem jsou velmi rychlé a slouží k zajištění důvěrnosti i autentičnosti zpráv. Jejich velkým problémem je bezpečná distribuce klíčů od zdroje klíčů k odesílateli a příjemci. Symetrické šifry se dělí na **proudové** a **blokové šifry**. V případě proudových šifer hodnota zašifrovaného bitu závisí na hodnotě příslušného bitu zprávy a na hodnotě klíče. V případě blokové šifry hodnota zašifrovaného bitu navíc závisí i na hodnotě dalších bitů dané zprávy. Blokové šifry jsou proto obecně bezpečnější avšak na druhou stranu jsou proudové šifrátoři rychlejší.[11]

Mezi nejznámější algoritmy používané v symetrických kryptosystémech patří například algoritmy DES (Data encryption standart), jeho zesílená varianta 3DES a z nich vycházející novější algoritmus AES (Advanced encryption standart).

Algoritmus DES

Je to symetrická šifra, to znamená, že pro šifrování i dešifrování se používá stejný klíč. DES šifruje data v 64-bitových blocích pomocí 56-bitového klíče. Jeho zesílená varianta 3DES pracuje se 168-bitovým klíčem. Nevýhoda tohoto algoritmu je, že může být prolomen hrubou silou (vyzkoušení všech možných klíčů).

Algoritmus AES

AES vychází z 30 let starých principů, které byly použity i pro DES. Velký pokrok oproti DES je v délce klíčů. AES podporuje délky klíčů 128, 192 a 256 bitů. Výhoda šifry AES oproti DES je, že jí nehrozí prolomení hrubou silou.

Jediná možná reálná hrozba útoku hrubou silou na AES hrozí ze strany kvantových počítačů. [13]

6.2 Asymetrické kryptosystémy

U systémů s veřejným klíčem platí, že oba klíče jsou různé. V tomto případě je jeden z klíčů tajný a druhý veřejný. Skutečnost, který z klíčů je tajný, určuje zda kryptografický systém zajišťuje důvěrnost nebo autentičnost. Pokud je veřejným klíčem klíč šifrovací a tajným klíčem klíč dešifrovací, tak kryptogram (zašifrovaný text) může zašifrovat veřejným klíčem kdokoliv, ale dešifrovat jej může pouze majitel tajného klíče. Tím je zajištěna důvěrnost a integrita přenesené zprávy.

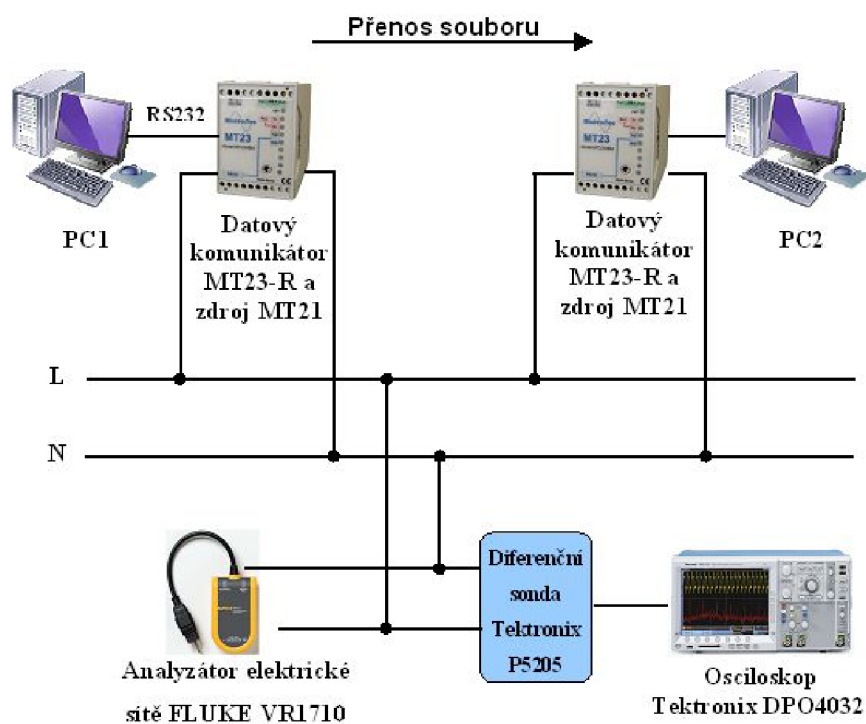
V opačném případě, kdy je veřejným klíčem klíč dešifrovací a tajným klíčem klíč šifrovací, může zprávu zašifrovat pouze majitel tohoto klíče, avšak takovýto kryptogram může veřejným klíčem dešifrovat kdokoliv. Tak je zaručena autentičnost přenesené zprávy. Výhodou systémů s veřejným klíčem je jednodušší distribuce klíčů, nevýhodou těchto systémů je značná výpočetní náročnost, to znamená pomalé šifrování a dešifrování. [10]

6.3 Vhodný kryptosystém pro úzkopásmový přenos po PLC

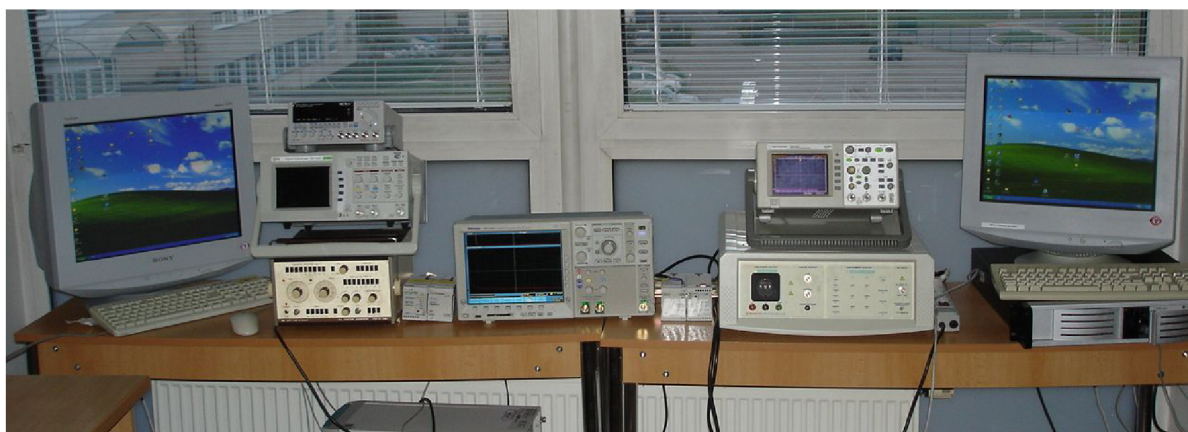
Z důvodu, že asymetrické kryptosystémy mají značnou výpočetní náročnost, je lépe pro úzkopásmový přenos po PLC volit systémy symetrické, které jsou méně výpočetně náročné, tudíž také jednodušší a levnější. Z druhů šifer je lepší volit šifru blokovou, která je sice oproti šifře proudové pomalejší, ale bezpečnější. Při častější výměně dat by u proudové šifry mohl útočník zjistit klíč. Jako vhodný šifrovací algoritmus je nejlepší použít algoritmus AES, u kterého nehrozí za současně dostupných podmínek prolomení hrubou silou.

7 MĚŘICÍ PRACOVISTĚ

Pro účely testování datové komunikace po PLC, bylo sestaveno laboratorní měřicí pracoviště, jehož schéma je zobrazeno na obrázku 7.1. Pro měření spektra komunikačního signálu byl použit digitální osciloskop Tektronix DPO4032 v kombinaci s vysokonapěťovou diferenciální sondou Tektronix P5205. Dále byly použity dva osobní počítače, dva datové komunikátory MT23-R a analyzátor sítě FLUKE VR1710.



obrázek 7.1: Schéma měřicího pracoviště.



obrázek 7.1: Měřicí pracoviště.

7.1 Modem MT23-R

Tento modul přenáší data ze sériové linky RS-232 po elektrorozvodné síti 230V/50 Hz. Modul funguje pouze se zdrojem MT21. Přenosy dat s využitím těchto modulů mohou být využívány průmyslovými PC, automatickými dávkovači, měniči frekvence, při sběru dat z číslicových elektroměrů atd. Naprosto spolehlivý přenos dat, která vždy dorazí na místo určení i za velmi nepříznivých průmyslových podmínek, řadí tyto přístroje mezi světovou špičku. Modem MT23R využívá programovatelná hradlová pole a nosnou frekvenci signálu v oblasti 3 až 150 kHz podle ČSN EN 50065. Má malou šíři modulačního pásma a přijímač s velkou selektivitou. Jsou v něm využity postupy jako např. korektor chyb, kontrolní součty a automatické opakování vysílání. [14]

Provozní stav

Je základní funkcí zařízení. Moduly mohou komunikovat několika způsoby. Pro linku RS232 je vytvořen systém přenosu „bod-bod“ s možností volby komunikace bez hardwarového řízení, s řízením CTS / RTS, nebo řízením DTR / DSR.

Programovací stav

Je stav, ve kterém dochází k nastavení parametrů zařízení. Spočívá v připojení počítače přes sériový port k modulu MT23R a jeho přímé naprogramování pomocí nastavovacího programu RSET, který je nedílnou součástí dodávky.

Funkce "maják"

Systém umožňuje provést jedinečnou a velmi jednoduchou prověrku komunikace. Výsledkem této prověrky může být mapa komunikace po místní energetické síti. Mapa může sloužit k návrhu konečné verze rozmístění modulů a v budoucnu, k jednoduššímu rozšíření systému, případně ulehčení analýzy poruchy. Modul MT23R je vybaven funkcí „MAJÁK“. Jednoduchým zasunutím konektoru „Maják“ do komunikačního portu RS232, se modul přepne do stavu neustálého kontaktování modulu MT23R. Tím lze provést pomocí dvou modulů, bez jakýchkoliv příprav a bez PC prověrku komunikace mezi dvěma body energetické sítě. Tak lze získat mapu komunikace místního energetického uzlu a společně s požadavky zákazníka zvolit optimální sestavu PLC komunikace.

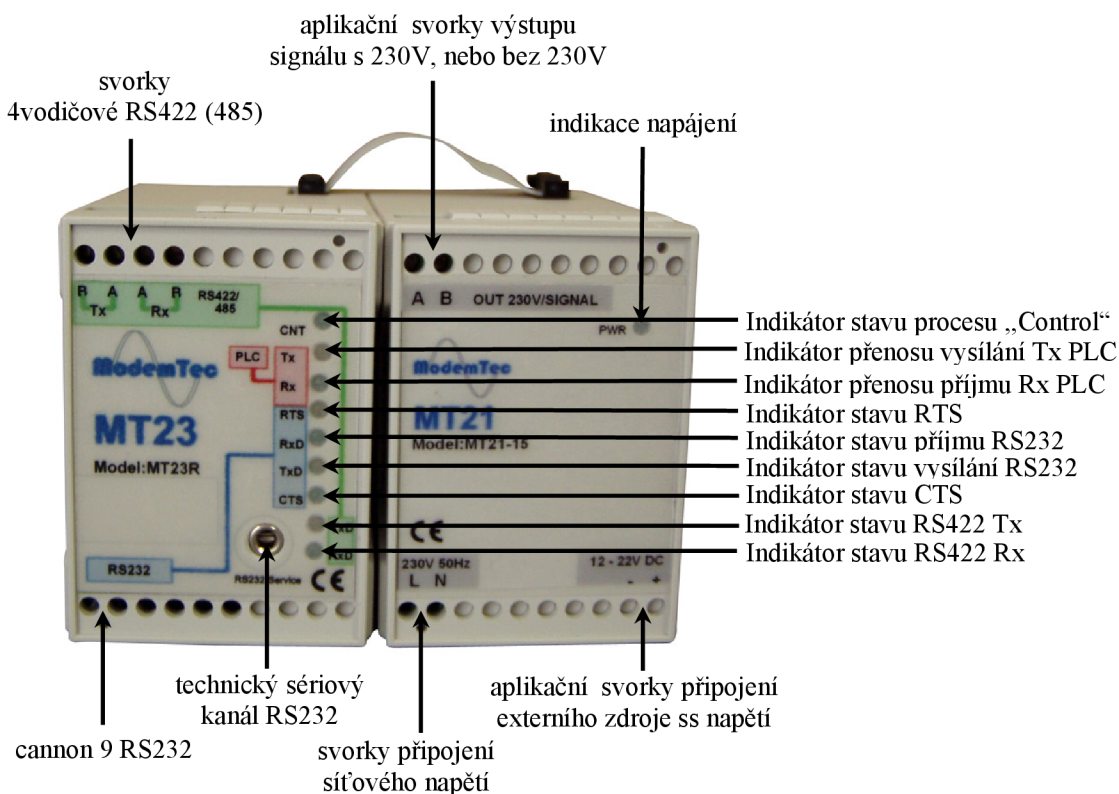
7.1.1 Základní parametry

Modul:

napájecí napětí 230V ± 10% 50Hz
příkon max. 15VA
externí napájecí napětí Un + 19V až +22V
pracovní teplota -5 °C až +40 °C
mezní teplota -10 °C až +50 °C
skladovací teplota -20 °C až +60 °C
bezpečnostní třída III
zařízení vyhovuje normám: ČSN EN 61010-1,
ČSN EN 60529, ČSN EN 61000-6-2,
ČSN EN 61000-6-3, ČSN EN 60870-5,
ČSN EN 1434-3

7.1.2 Popis modemu

Popis panelu:



obrázek 7.3: Popis modemu MT23R.

Popis indikačních prvků:

indikace napájení – indikuje připojení MT21 k síťovému napětí 230V a přítomnost výstupního napětí 19VDC

indikace stavu procesoru „Control“ – indikuje stav CPU základní desky, pokud svítí je systém v pořádku

indikace přenosu vysílání Tx PLC– indikuje stav vysílání z procesoru na výkonový zesilovač zdroje MT21 – svítí-li je vysílání

indikace přenosu příjmu Rx PLC– indikuje stav příjmu do procesoru ze vstupního zesilovače zdroje MT21 – svítí-li je příjem

indikace stavu CTS – indikuje stav MT23R že je připraveno ke komunikaci po RS232. To znamená, LED dioda svítí.

indikace stavu příjmu RS232 – indikuje stav přijímacího vstupu z RS232. Pokud tato LED dioda jakkoli bliká, nebo svítí, dochází k příjmu dat

indikace stavu vysílání RS232 – indikuje stav výstupu na RS232. Pokud tato LED dioda jakkoli bliká, nebo svítí, dochází k vysílání dat

indikace stavu RTS – indikuje stav připojeného zařízení, že potřebuje komunikovat po RS232. LED dioda svítí.

indikace stavu vysílání RS422 Tx – indikuje stav výstupu na RS422. Pokud tato LED dioda jakkoli bliká, nebo svítí, dochází k vysílání dat

indikace stavu příjmu RS422 Rx – indikuje stav příjmu do procesoru ze vstupního zesilovače zdroje MT21 – svítí-li je příjem.

7.1.3 Sběrnice modemu MT23R

Modul je vybaven dvěma plně funkčními budiči sériových linek RS232 a RS422 (485). RS 232 je vyvedena přes konektor cannon 9 pinů v standardním zapojení. Sběrnice RS 422 (485) je vyvedena na šroubovací svorky ve 4 vodičovém provedení. Je galvanicky (opticky) oddělena od řídicí jednotky. Standard RS 232 uvádí jako maximální možnou délku vodičů 15 metrů (kapacita vodiče 2,5 nF). To znamená, že při použití kvalitního vodiče, lze dodržet standard a při zachování jmenovité kapacity prodloužit vzdálenost až na cca 50 m (19,2 kD). Kabel lze také prodlužovat při snížení přenosové rychlosti, protože potom bude přenos odolnější vůči velké kapacitě vedení. Viz. následující tabulka.

Přenosová rychlost [Bd]	Maximální délka [m]
19 200	15
9 600	150
4 800	300
2 400	900

tabulka 7.1: Závislost přenosové rychlosti na délce kabelu.

7.1.4 Programovací stav

Modem MT24-R má dva druhy portů, komunikační a servisní. Před použitím PLC modulu MT23R je zapotřebí v něm nastavit několik parametrů. Tyto parametry se nastavují přes servisní port RS232 z PC, pomocí nastavovacího programu RSET.

Local address – nastavení adresy modulu v rámci PLC sítě.

Remote address – nastavení adresy vzdáleného modulu v rámci PLC sítě.

Interface – výběr komunikačního kanálu RS232, RS422, RS485.

Baudrate – nastavení komunikační rychlosti vybraného kanálu v rozsahu 300 ÷ 115200 bit/s v standardním rastru. Rychlost je zapotřebí nastavit s ohledem na přenosovou rychlost PLC přenosu, ve spojení s velikostí vyrovnávacího bufferu a množství přenášených dat.

Parity – nastavení parity – možný výběr – bez parity, sudá, lichá parita

Data bit – nastavení délky slova (byte) – možný výběr – 7, 8 bite

Stop bit – nastavení počtu stop bitů – možný výběr – 1, 2 stop bite

HS Timeout - Handshake Timeout - čas, po který čeká modem na potvrzovací (HS) paket od protějšího modemu než začne s opakováním vysílání.

Rec. Timeout - Receive timeout - čas po který modem čeká na další paket od protějšího modemu. Nepřijde-li, komunikace je ukončena (modem buď čeká na doplnění dat v dalším opakování a nebo na nový datagram).

Retransmissions - Počet opakování po vypršení handshake timeoutu. Maximální počet datagramů vyslaných na protější modem během jedné transakce je 1 + Retransmissions.

Dokumentace převzata z [15]

7.2 Ostatní komponenty měřicího pracoviště

MT21

Slouží jako zdroj pro napájení PLC modulů MT2x, zároveň slouží jako zesilovací a oddělovací stupeň vysílače a přijímače signálu pro přenos po rozvodné síti 230V v pásmu nosných kmitočtů 95 až 145 kHz. S ostatními moduly je MT2x propojen pomocí plochého šestnáctižilového kabelu. Dodává se ve dvou výkonových provedeních MT21-10 (s výkonem 10W) a MT21-15 (s výkonem 15W). [15]

FLUKE VR1710

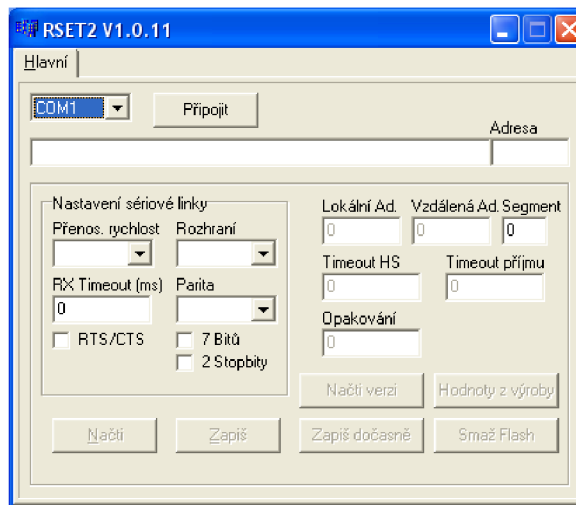
Jednofázový, zásuvný záznamník kvality napětí, který nám poskytuje diagnostiku a záznam kvality elektrické energie v síti. Mezi parametry, které dokáže diagnostikovat a zaznamenat patří průměrná hodnota RMS, přechodové jevy, flicker (mihotání světel) a harmonické kmity až do třicáté druhé. Tyto parametry jsou zaznamenávány pomocí uživatelsky definované průměrné doby, kterou můžeme nastavit od 1 sekundy do 20 minut.[16]

Tektronix P5205

Tato vysokonapěťová diferenciální sonda umožňuje uživateli provádět bezpečná měření obvodů s uzemněným osciloskopem. Tato sonda konvertuje měnící se signál na nízkonapěťový referenční signál vůči zemi, který může být bezpečně zobrazen na osciloskopu.

8 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ

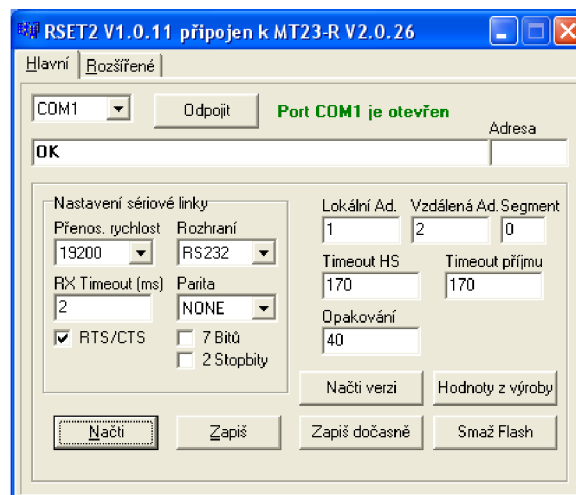
Praktické měření probíhalo na laboratorním měřicím pracovišti, které bylo popsáno v kapitole 7. Pro měření vlivu nejrůznějších parametrů, které ovlivňují přenos po PLC, bylo zapotřebí nejprve nastavit komunikaci a přenášet nějaká data. K tomu byl použit program Hyperterminál, který je standartní součástí Windows. Proto, aby přenos probíhal spolehlivě a modem plnil svou funkci, bylo nutné před jeho použitím nastavit jeho komunikační parametry, jako jsou například přenosová rychlost, rozhraní, lokální adresa, vzdálená adresa a jiné. Pro tento účel slouží speciální software RSET.



obrázek 8.1: Program RSET.

8.1 Konfigurace a nastavení modemu v prostředí Windows

Nejprve se modem připojil přes servisní port k sériovému portu počítače. Pro tento účel byl použit speciální servisní kabel. Poté se na PC spustil program RSET. Zde se vybral port, přes který byl modem připojen k PC a zvolena položka „připojit“. Pak bylo možno nastavit parametry modemu.

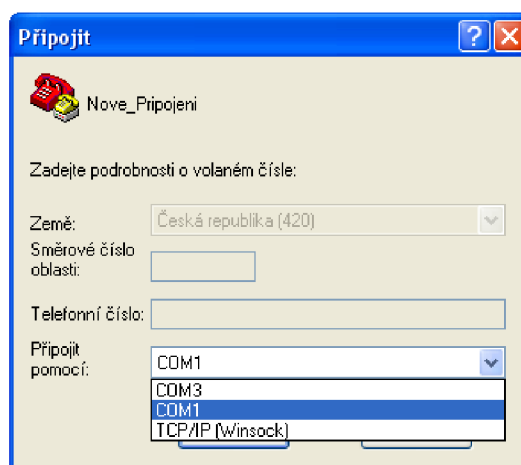


obrázek 8.2: Program RSET.

Pro testování byla zvolena přenosová rychlost 19200 bit/s, RX timeout 2ms, dále bylo nastaveno hardwarové řízení toku RTS/CTS a nulová parita. Adresy modemů byly zvoleny u prvního modemu lokální adresa 1, vzdálená adresa 2 a u druhého modemu opačně (lokální adresa 2 a vzdálená adresa 1). Ostatní hodnoty se nechaly implicitně nastaveny. Pro uložení nastavených hodnot do paměti modemu slouží tlačítko „Zapiš“.

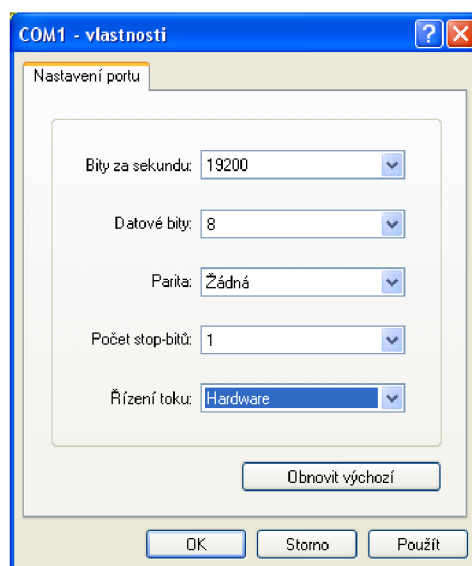
8.2 Nastavení programu Hyperterminál pro přenos souboru

Na obou počítačích byl spuštěn program Hyperterminál, kde se vyplnil název připojení. Poté byl vybrán port, ke kterému byl modem připojen.



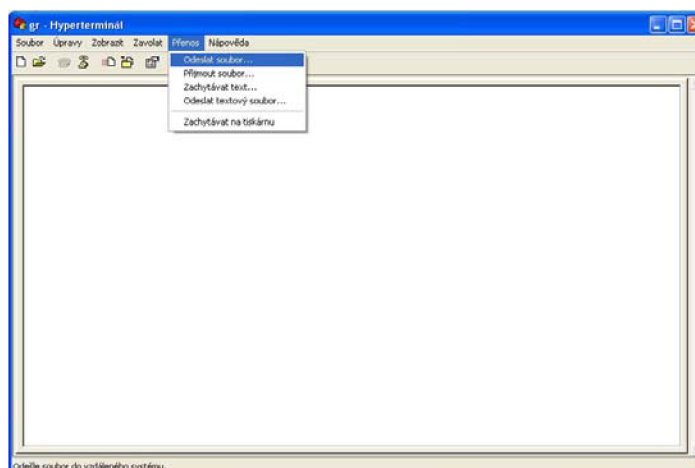
obrázek 8.3: Program Hyperterminál.

Dále byly nastaveny komunikační parametry modemů. Muselo se dbát na to, aby byly nastaveny u obou modemů stejně.



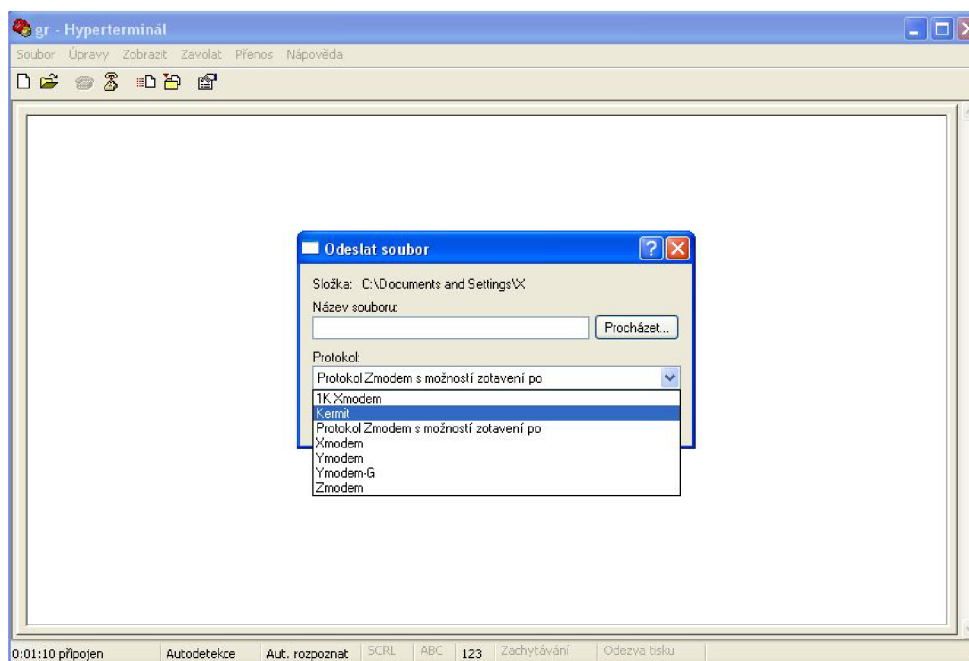
obrázek 8.4: Program Hyperterminál.

Následně na jednom počítači byla v menu „Přenos“ zvolena položka „Odeslat soubor“.



obrázek 8.5: Program Hyperterminál.

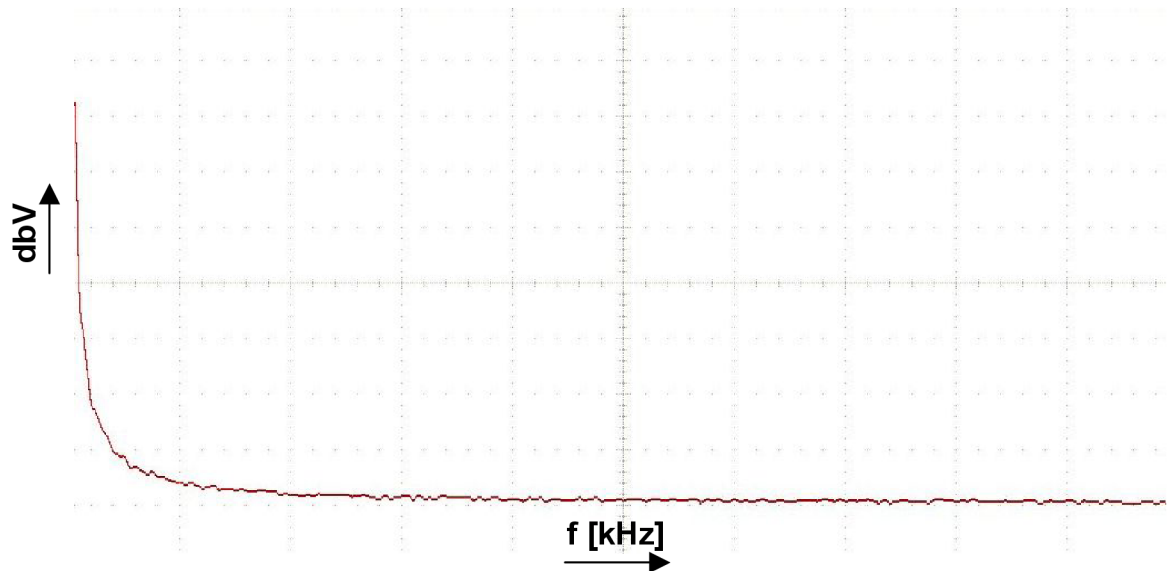
Poté byl vybrán soubor k přenosu a nastaven komunikační protokol. Nakonec se zvolila položka „Odeslat“. Proto, aby byl přenos souboru zahájen, bylo nutné ještě na druhém PC v menu přenos zvolit položku „přijmout“. Tím začal přenos souboru.



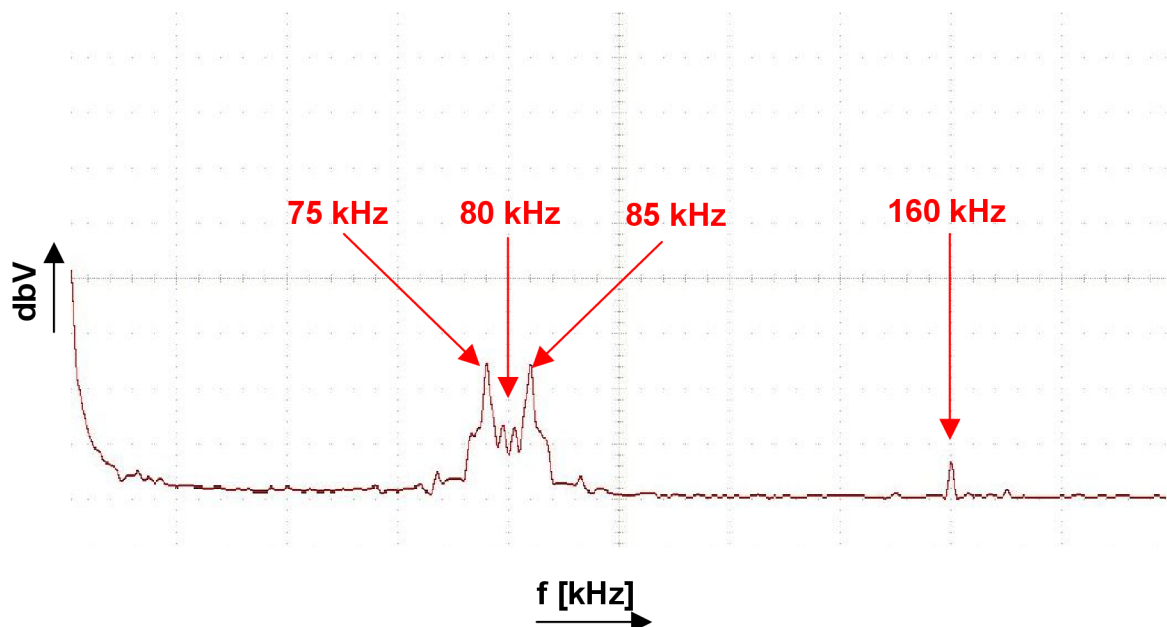
obrázek 8.6: Program Hyperterminál.

8.3 Zobrazení spekter

Pro zobrazení spektra signálu bylo použito standardní zapojení měřicího pracoviště, které bylo popsáno v kapitole 7. Nejprve bylo zobrazeno spektrum signálů na síti bez probíhající komunikace (obr.8.7) a poté s probíhající komunikací (obr.8.8). K zobrazení spekter na osciloskopu bylo využito funkce FFT.



obrázek 8.7: Spektrum bez probíhající komunikace.



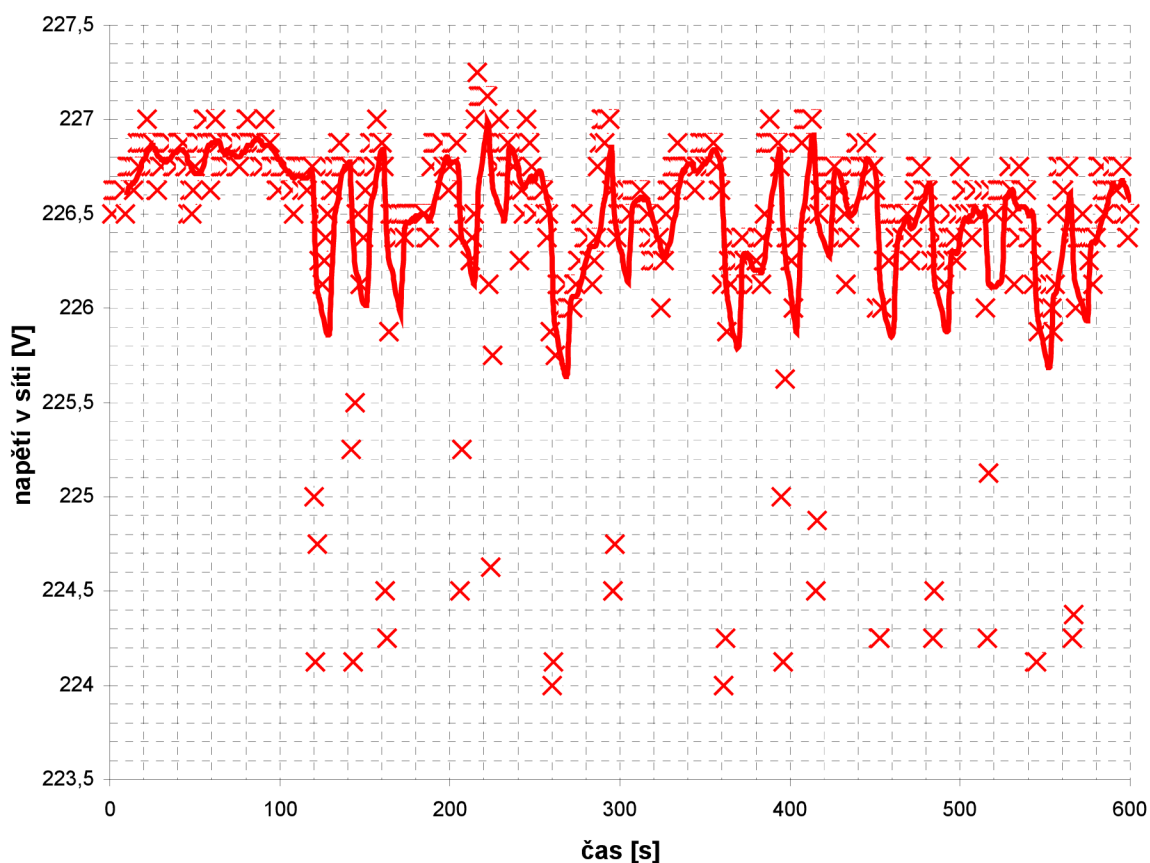
obrázek 8.8: Spektrum s probíhající komunikací.

Na grafu (obr.8.7) který byl získán při měření síti bez probíhající komunikace je vyšší úroveň signálu patrná pouze v počátku, protože napětí na silovém vedení má frekvenci

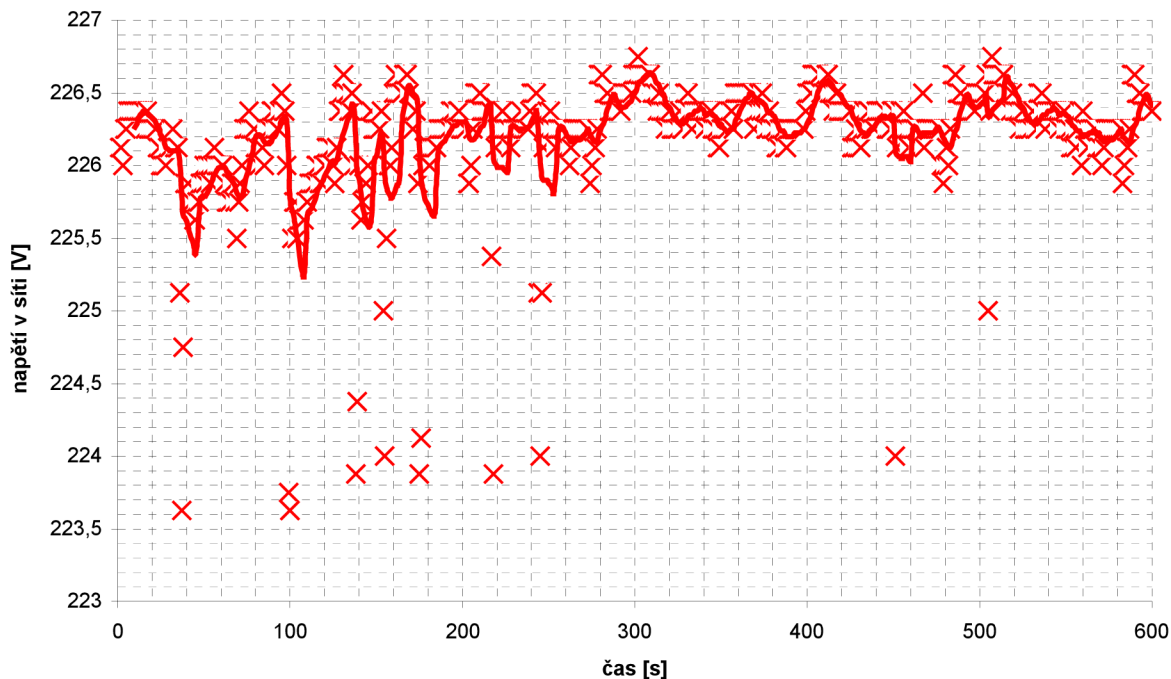
50 Hz. Ostatní frekvence by se v síti tedy objevovat neměly. Oproti tomu na grafu (obr.8.8), který byl získán při měření sítě s probíhající komunikací, je vidět zvýšená úroveň signálu i v okolí kmitočtu 80 kHz, špičky jsou v úrovních 75 kHz a 85 kHz. Z toho je patrné, že modemy komunikují v pásmu kolem těchto kmitočtů. Dle normy CENELEC, která byla popsána v kapitole 1, přenos na těchto kmitočtech odpovídá pásmu A. Dále je vidět ještě zvýšená úroveň signálu v okolí kmitočtu 160 kHz. To je vyšší harmonická komunikačního kmitočtu 80 kHz.

8.4 Měření vlivu datové komunikace na primární funkci silového vedení

Pro toto měření bylo použito standardní zapojení pracoviště, které bylo popsáno v kapitole 7. Bylo zkoumáno, má-li probíhající datová komunikace vliv na stav napětí v elektrické síti. Proto bylo provedeno měření kvality napětí sítě analyzátozem FLUKE nejprve bez probíhající komunikace a poté s probíhající komunikací.



obrázek 8.9: Graf stavu napětí v síti bez probíhající komunikace.



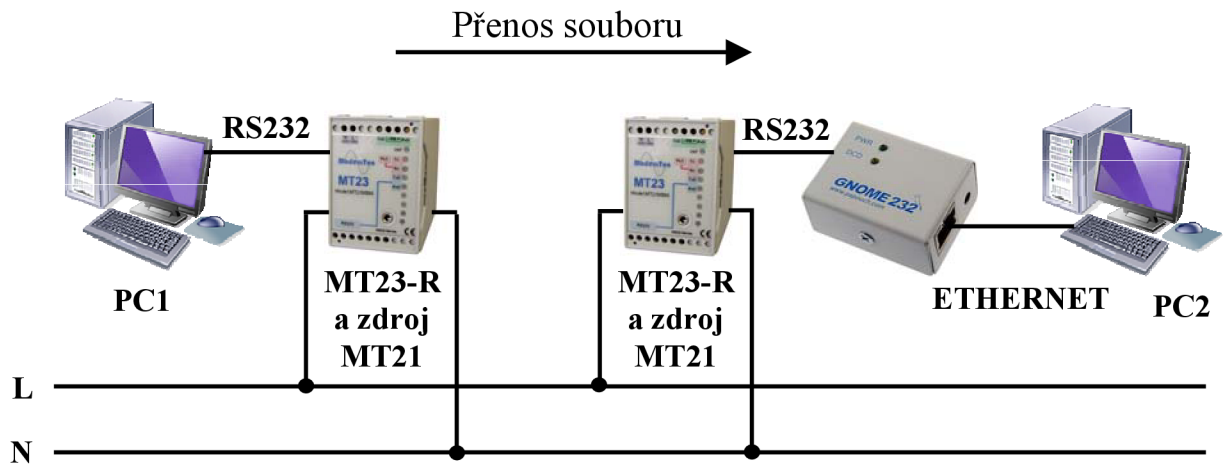
obrázek 8.10: Graf stavu napětí v síti s probíhající komunikací.

Z grafů (8.9 a 8.10) je patrné, že nějaký výraznější pokles napětí při měření s komunikací a bez komunikace nebyl zaznamenán. Průměrná hodnota napětí v síti bez probíhající komunikace byla 226,482V a při probíhající komunikaci 226,21V. To je sice mírný pokles oproti průměrné hodnotě získané bez probíhající komunikace, ale jen velmi nepatrný a odpovídá běžnému kolísání napětí v elektrické síti. Dále mohl být způsoben elektrickými spotřebiči, které byly v době měření připojeny na danou fázi. Proto lze konstatovat, že probíhající datová komunikace po PLC nemá zásadní vliv na velikost napětí v síti.

8.5 Měření přenosové rychlosti

K měření přenosové rychlosti byl použit program Interface Traffic indicator. Tento program získává data pouze přes rozhraní Ethernet. Z tohoto důvodu bylo nutné upravit laboratorní pracoviště popsané v kapitole 7. Jednoduchá úprava spočívala v tom, že mezi jeden z počítačů a modem byl vložen převodník GNOME232. Je to převodník rozhraní Ethernet na linku RS232. Umožňuje jednoduché propojení přístrojů s rozhraním RS232 na Ethernet, nebo prodloužení sériové linky. Kromě převodníku bylo ještě nutné použít

speciální software HW virtual seriál port. Tento software vytvořil v operačním systému Windows nový sériový port přeměrovaný přes Ethernet na převodník GNOME



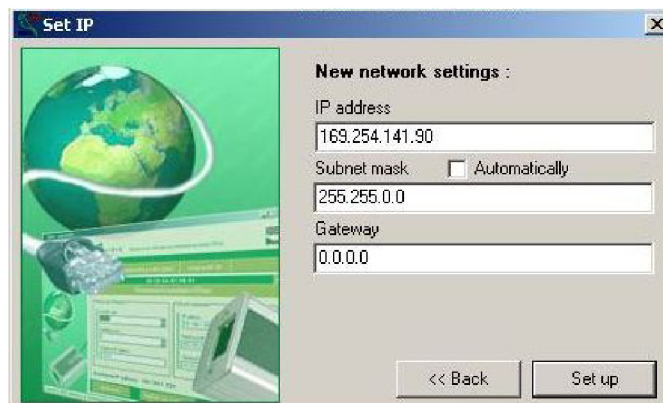
obrázek 8.11: Schéma měřicího pracoviště s převodníkem GNOME232.

8.5.1 Konfigurace a nastavení převodníku v prostředí Windows

Nejprve bylo spuštěno instalační rozhraní převodníku GNOME232, byl vyhledán připojený převodník pomocí jeho MAC adresy a následně nastaveny jeho parametry (IP adresa, maska sítě a výchozí brána).

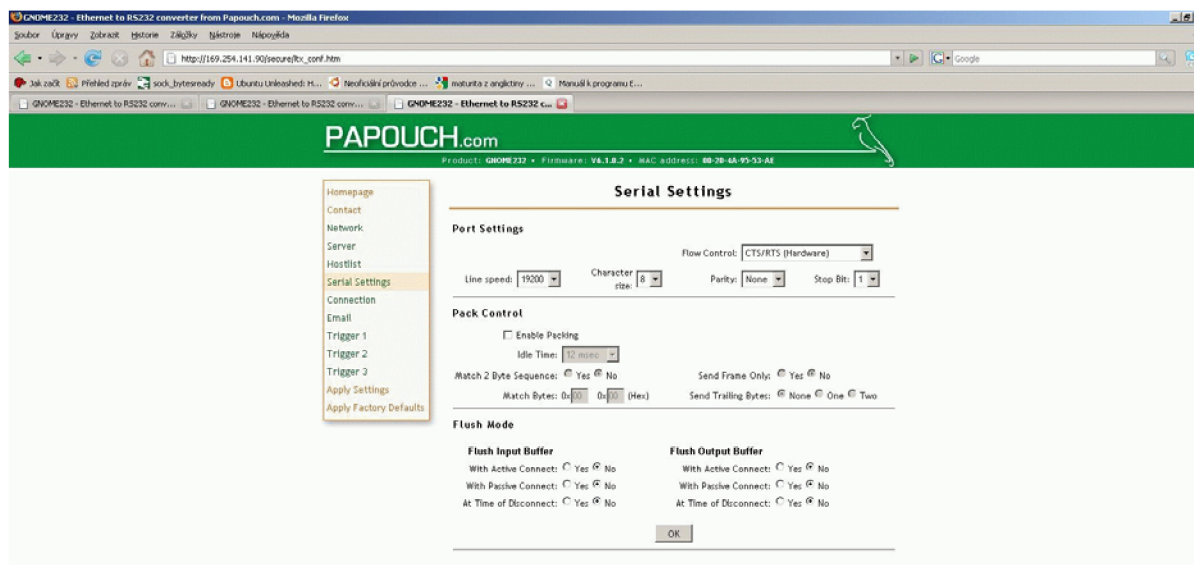


obrázek 8.12: Vyhledání převodníku podle jeho MAC adresy.



obrázek 8.13: Nastavení parametrů převodníku.

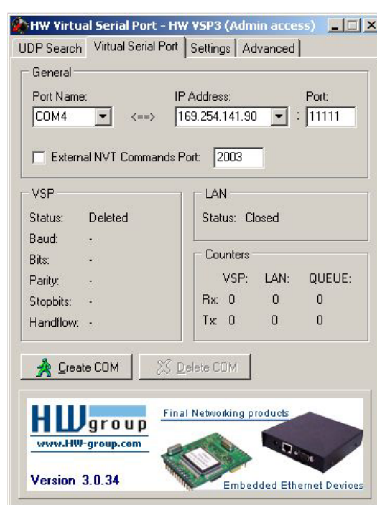
Po nastavení základních parametrů převodníku, bylo možné dostat se do konfiguračního rozhraní převodníku a to zadáním jeho IP adresy do libovolného webového prohlížeče. V konfiguračním rozhraní pak byly zadány čísla portů, bitová rychlost, počet datových bitů, počet stop bitů, parita a řízení toku. Bylo třeba si dát pozor, aby zadané parametry přesně odpovídaly parametrům zadaným do modemů. Jinak by komunikace nefungovala. Nakonec se uložily změny a převodník byl nakonfigurován.



obrázek 8.14: Nastavení převodníku GNOME232.

8.5.2 Vytvoření virtuálního sériového portu

Poté už zbývalo pouze nastavit virtuální COM port. Na to byl použit software HW Virtual Serial Port. V záložce Virtual Serial Port bylo zadáno jméno virtuálního portu, IP adresa převodníku a číslo portu. Poté bylo zvoleno „Create COM“.



obrázek 8.15: Program HW Virtual seriál port.

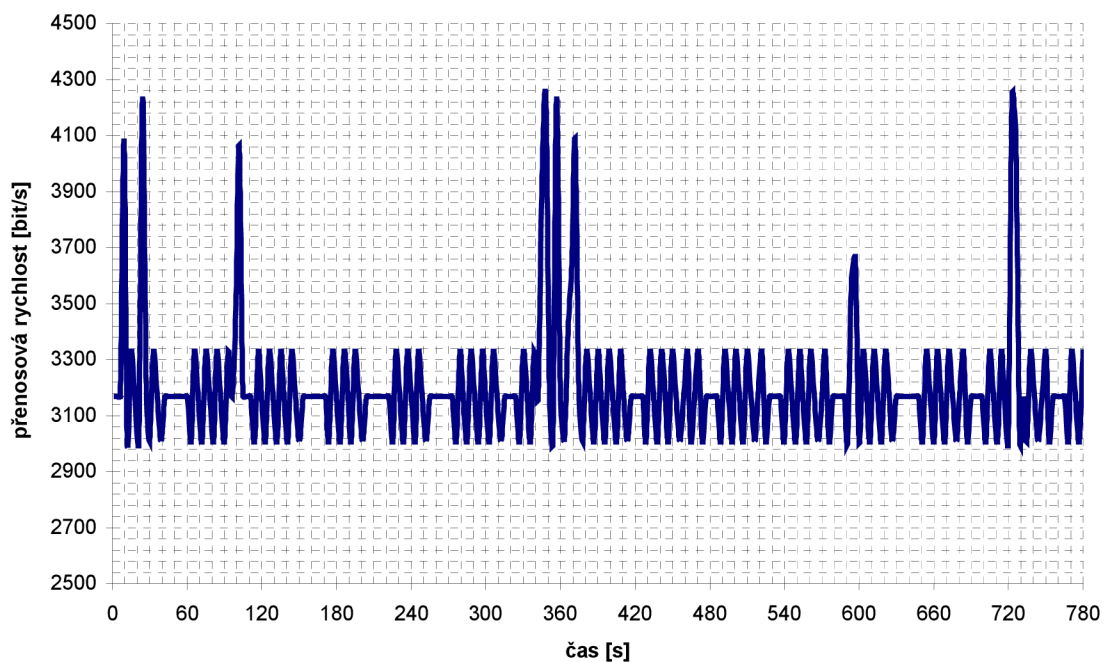
Vše proběhlo bez problémů a v kolonce LAN – Status se objevil nápis Connected. Tímto byl v počítači vytvořen virtuální sériový port.



obrázek 8.16: Program HW Virtual seriál port.

8.5.3 Měření přenosové rychlosti

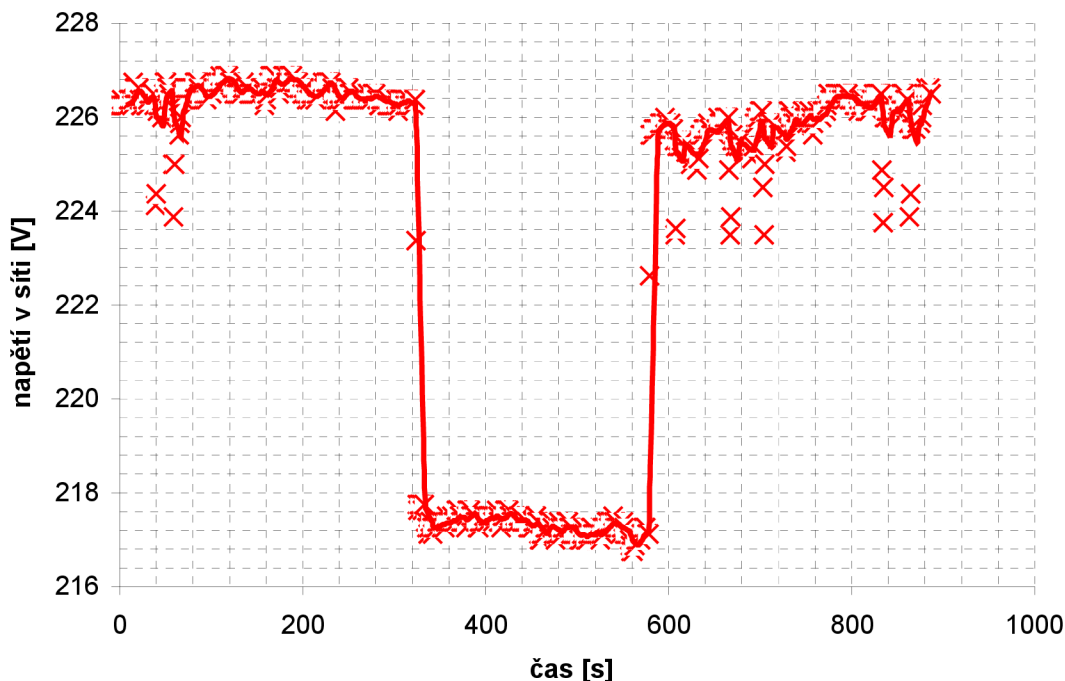
Pomocí programu Interface traffic indicator byl získán následující graf přenosové rychlosti (obr.8.17). Měření probíhalo na laboratorním měřicím pracovišti popsaném v kapitole 8.5. po dobu 13 minut na stejné fázi bez přidaného rušení. Průměrná hodnota přenosové rychlosti byla 3197,82 bit/s. Výrobce modemů v katalogu udává maximální možnou přenosovou rychlost 10kbit/s, což je rychlost více než dvojnásobná. Takovéto rychlosti by bylo možné zřejmě dosáhnout pouze v ideálních podmínkách.



obrázek 8.17: Graf přenosové rychlosti.

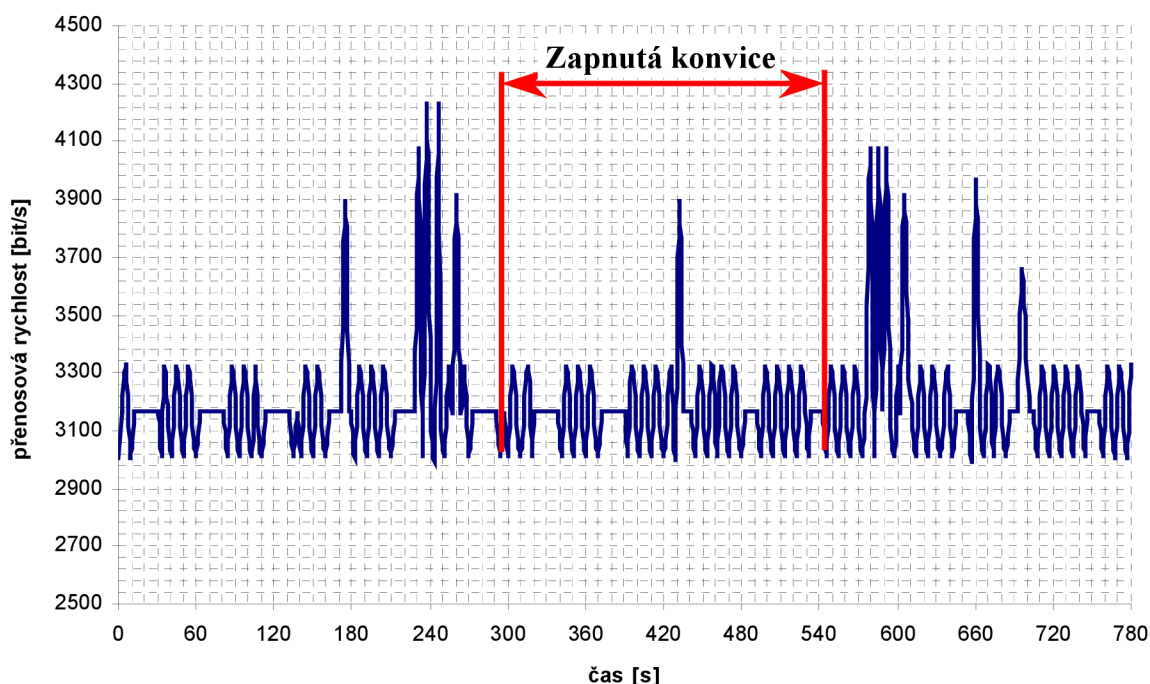
8.5.4 Vliv poklesu napětí v síti na přenosovou rychlost

Dále byl zkoumán vliv poklesu napětí v síti na přenosovou rychlost. Měření probíhalo opět na laboratorním měřicím pracovišti popsaném v kapitole 8.5. po dobu 13 minut na stejné fázi bez přidaného rušení. V čase 291 – 543 byla na fázi, po které probíhala komunikace, připojena rychlovarná konvice. Následující graf (obr.8.18) z analyzátoru FLUKE ukazuje stav napětí v síti bez zapnuté konvice a se zapnutou konvicí. V čase 291 při zapnutí konvice pokleslo napětí v síti a v čase 543 kdy došlo k vypnutí konvice se napětí vrátilo opět k normálnímu stavu.



obrázek 8.18: Stav napětí v síti se zapnutou konvicí a bez konvice.

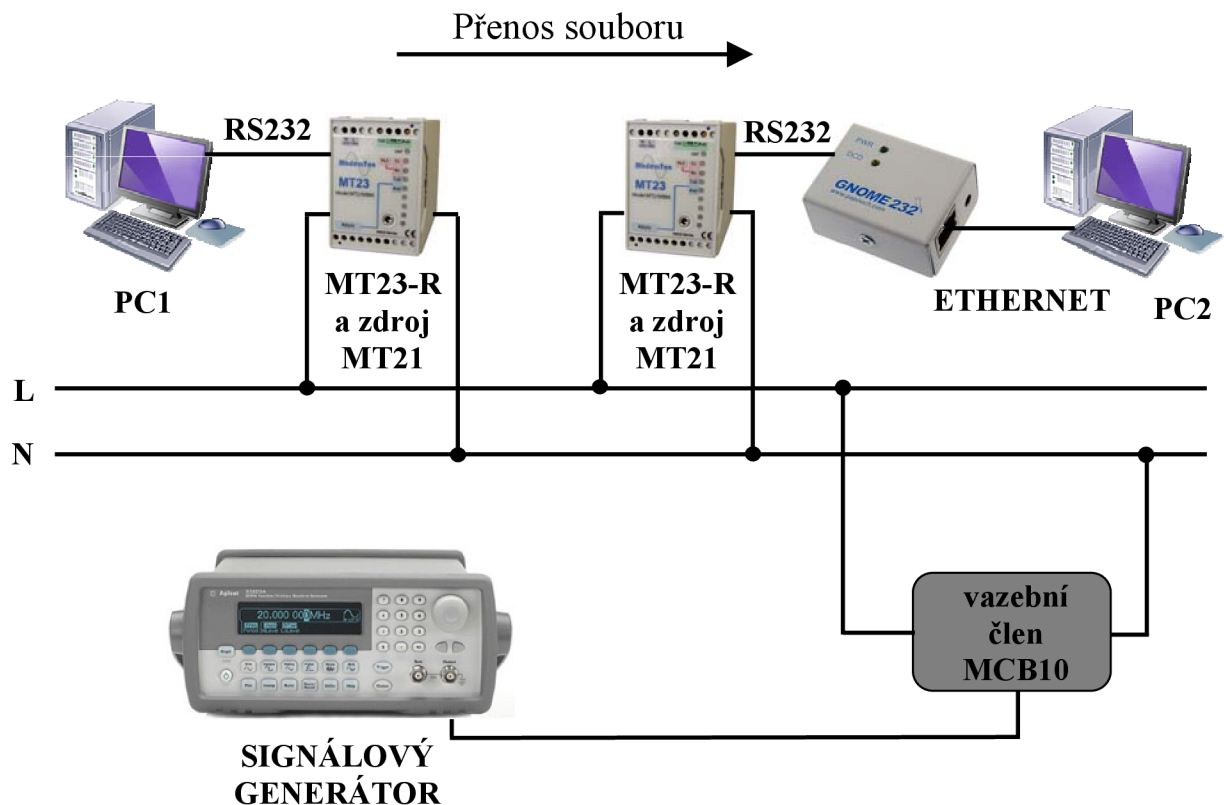
Pomocí programu Interface traffic indicator byl získán následující graf (obr.8.19) přenosové rychlosti. Z grafu je ale patrné, že pokles napětí v síti (cca 10V) v čase 291 - 543, který zapříčinila rychlovarná konvice, neměl na přenosovou rychlost vliv, zřejmě proto že frekvence napětí v síti je 50 Hz a modemy vysílají ve frekvenčním pásmu kolem 80 kHz, což je dosti velký odstup. Konvice dále dodávala do sítě jistý šum, tento šum ale také zřejmě nezasahoval do frekvenčního pásma, v kterém modemy komunikují. Proto zřejmě neměl na přenosovou rychlost vliv. Průměrná hodnota přenosové rychlosti, podobně jako při měření v kapitole 8.5.3., byla 3196,48 bit/s.



obrázek 8.19: Graf přenosové rychlosti se zapnutou konvicí a bez konvice.

8.6 Měření vlivu rušení

Dále bylo zkoumáno, jaký vliv bude mít na přenos přidané rušení. Měření opět probíhalo na upraveném laboratorním pracovišti popsaném v kapitole 8.5. Rušení bylo do sítě dodáváno signálovým generátorem, který byl k síti připojen přes vazební člen MCB10. Člen zajišťoval bezpečný přenos rušivého signálu z generátoru do sítě a zároveň zajišťoval jeho izolaci od sítě. Schéma připojení generátoru přes vazební člen do sítě je znázorněno na obrázku 8.20.



obrázek 8.20: Připojení signálového generátoru k síti.

Jak již bylo zjištěno v kapitole 8.3. modemy MT23-R komunikují na frekvenčním pásmu 75 – 85 kHz. Z tohoto důvodu byly do sítě dodány různé typy rušivých signálů o frekvencích právě v tomto pásmu. Byla provedena sada měření, při které byly použity rušivé signály typu sinus, pila a obdélník (tabulky 8.1, 8.2 a 8.3). Každý z těchto signálů při různých frekvencích byl do sítě dodáván po dobu pěti minut. Při tom vždy byla pomocí programu Interface traffic indicator změřena průměrná přenosová rychlost. Dále bylo zkoumáno, podaří-li se vlivem některého rušivého impulsu přerušit komunikaci.

Sinusový signál ($V_{pp} = 30V$)

Frekvence [kHz]	70	72	75	78	80	82	85	87	90
Přenosová rychlost [bit/s]	3201	3205	3211	3200	3190	3169	3201	3180	3169

tabulka 8.1: Naměřené hodnoty při sinusovém rušení.

Pilový signál ($V_{pp} = 30V$)

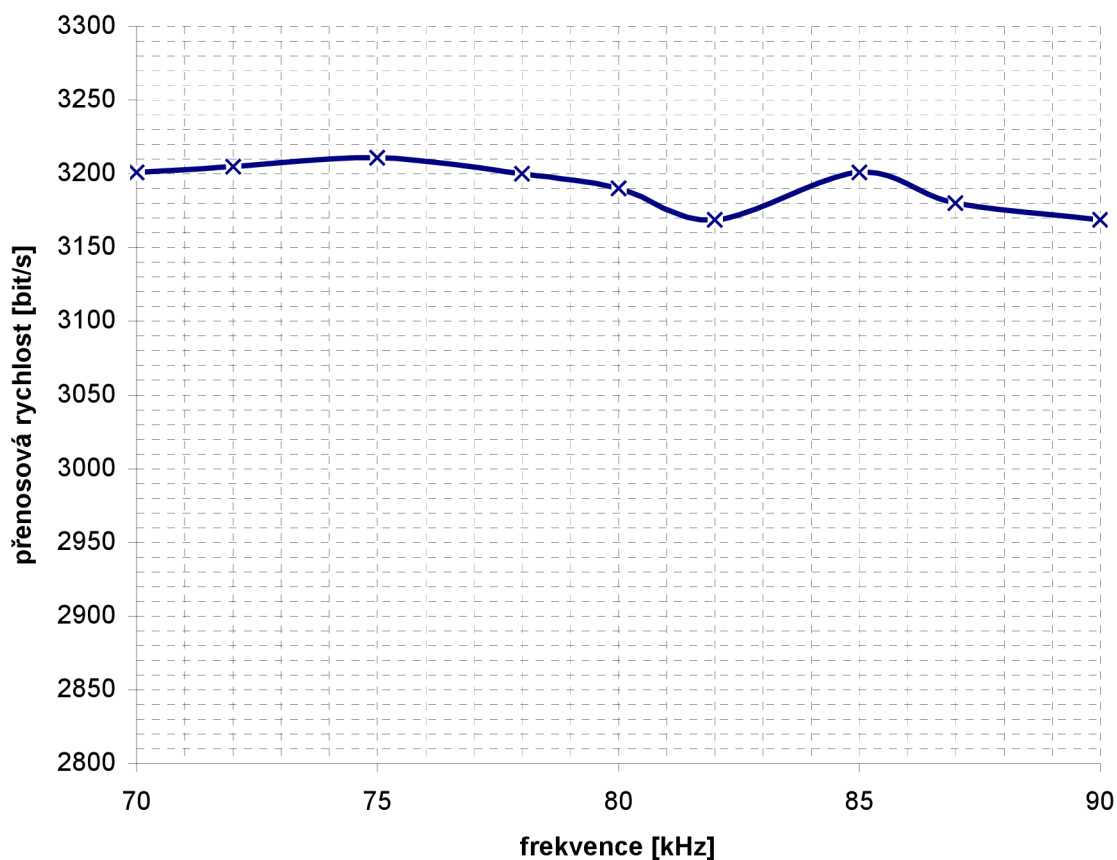
Frekvence [kHz]	70	72	75	78	80	82	85	87	90
Přenosová rychlost [bit/s]	3210	3250	3190	3177	3242	3152	3169	3160	3210

tabulka 8.2: Naměřené hodnoty při pilovém rušení.

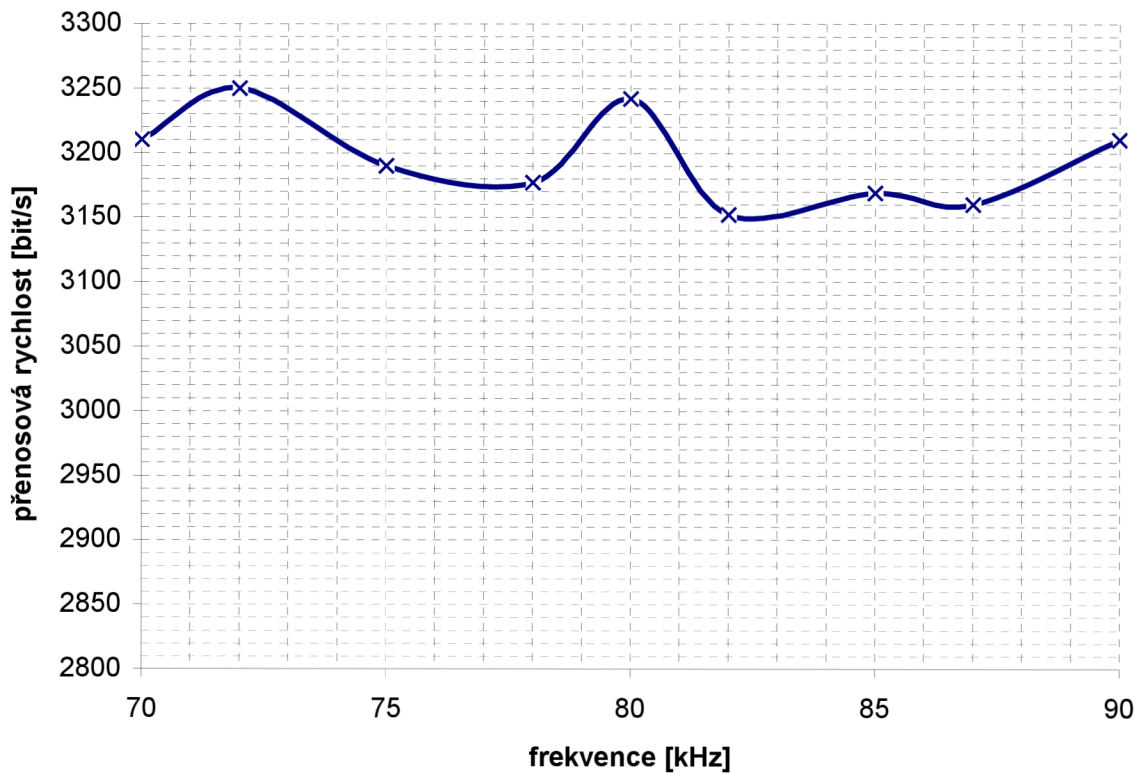
Obdélníkový signál ($V_{pp} = 30V$)

Frekvence [kHz]	70	72	75	78	80	82	85	87	90
Přenosová rychlost [bit/s]	3205	3250	3209	2958	2855	3065	3181	3201	3251

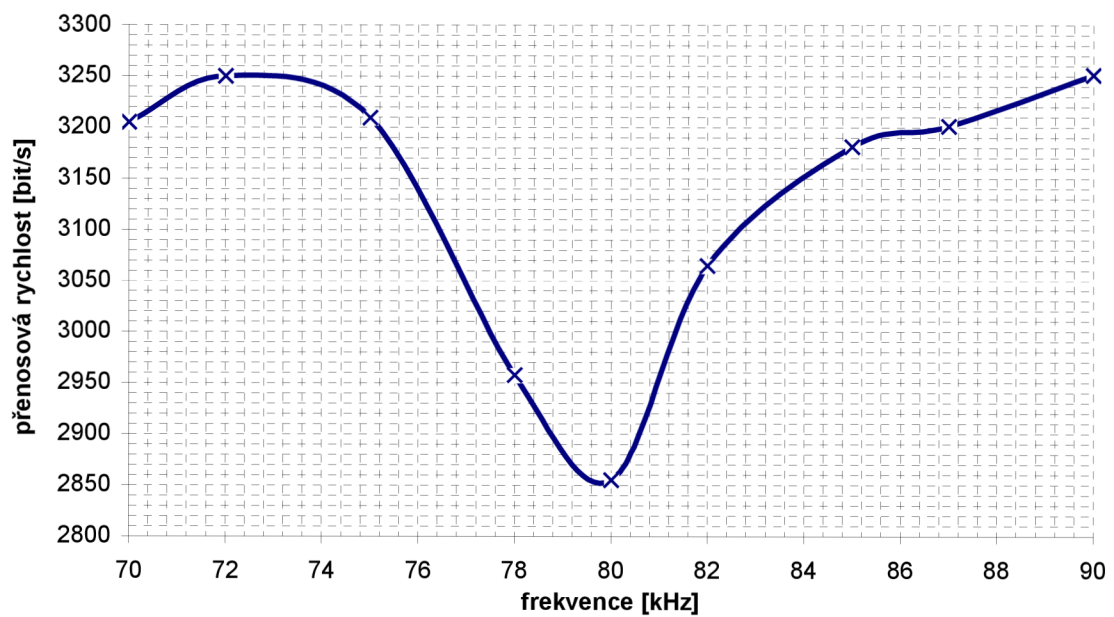
tabulka 8.3: Naměřené hodnoty při obdélníkovém rušení.



obrázek 8.21: Graf závislosti průměrných přenosových rychlostí na frekvenci sinusového rušivého signálu.

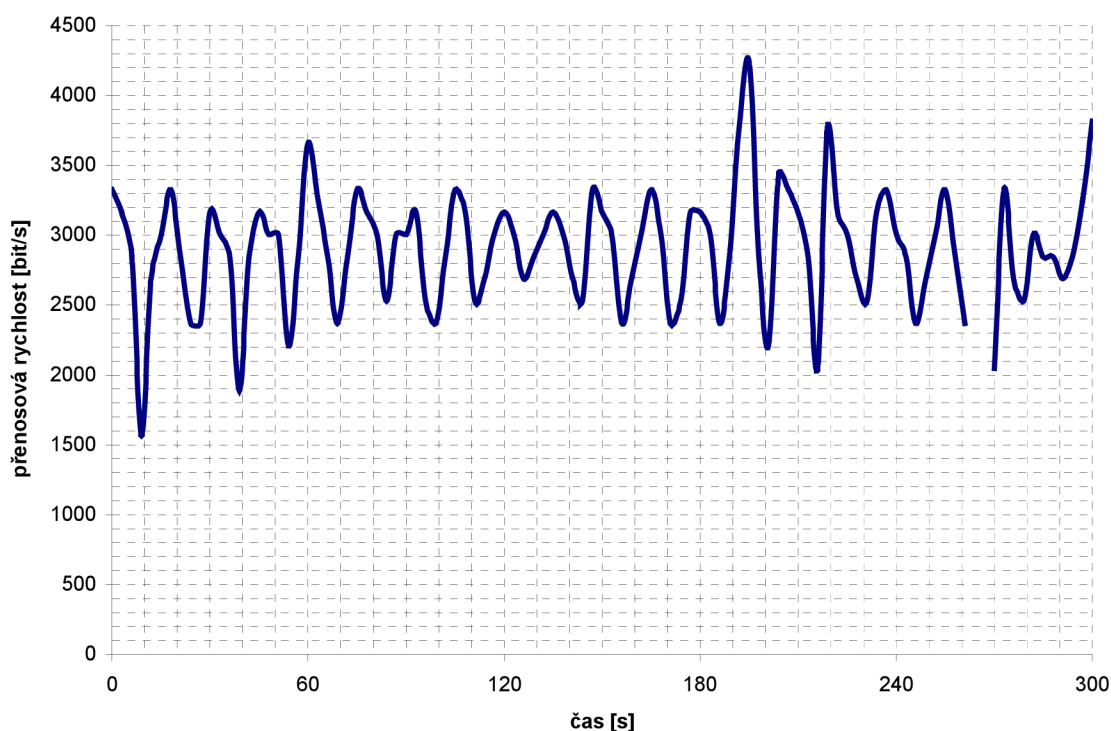


obrázek 8.22: Graf závislosti průměrných přenosových rychlostí na frekvenci pilového rušivého signálu.



obrázek 8.23: Graf závislosti průměrných přenosových rychlostí na frekvenci obdélníkového rušivého signálu.

Z měření vyplývá, že při implementaci rušivých signálů typu sinus a pila měřená přenosová rychlost kolísala v malém rozsahu, řádově o desítky bitů za sekundu. Toto kolísání odpovídá standardnímu kolísání přenosové rychlosti a zřejmě nebylo způsobeno přidanými rušivými signály. Časové průběhy přenosových rychlostí vcelku odpovídaly časovému průběhu bez přidaného rušení, který byl změřen v kapitole 8.5.3., proto zde nebyly uvedeny. Zajímavé bylo ovšem měření při přidaném obdélníkovém signálu (obr.8.23). Zde se vliv rušení projevil. Z grafu (8.23) je patrné, že při implementaci rušení v okolí kmitočtu 80 kHz, tedy ve frekvenčním pásmu, které používají modemy pro komunikaci, výrazně klesla průměrná přenosová rychlost řádově o několik stovek bitů za sekundu. V časovém průběhu (obr.8.24) který byl získán při frekvenci 80 kHz je vidět velké kolísání přenosové rychlosti v rozsahu tisíce bitů za sekundu. V čase 264 a 267 byla komunikace dokonce přerušena úplně. Důvod proč se vliv rušení projevil pouze při implementaci obdélníkového signálu a u pilového a sinusového nikoliv byl zřejmě takový, že obdélníkový signál má ze všech tří signálů nejširší spektrum. Další důvod neprojevení vlivu rušení signálů sinus a pila mohl být, že na generátoru rušení nebyly přesně nastaveny kmitočty na kterých modemy vysílají.



obrázek 8.24: Graf přenosové rychlosti při přidaném rušení obdélníkovým signálem o kmitočtu 80 kHz.

ZÁVĚR

V této práci byly představeny možnosti, které nám přináší úzkopásmový přenos po PLC. Byly rozebrány druhy šumu v PLC a stanoveny parametry komunikačního kanálu. Dále byla doporučena vhodná modulace, protichybové kódování a šifrování pro PLC systémy.

Bylo zjištěno, že jako nejvýhodnější modulace pro úzkopásmový přenos po PLC se jeví úzkopásmové modulace, jako jsou například frekvenční klíčování (FSK) a fázové klíčování (PSK). Dále je pak velmi výhodné použít širokopásmovou modulaci OFDM a to hlavně díky její schopnosti v reálném čase vyhodnocovat poruchy na komunikačním kanále. Tato schopnost vzhledem k charakteru silového vedení, jakožto komunikačního kanálu s výskytem častých poruch je velmi výhodná.

U doporučení kódovacího protokolu bylo vycházeno hlavně z toho, že po PLC lze přenést pouze malé množství souvislých informací, než dojde k chybám. Proto by jako protokol protichybového kódování měl být použit protokol, který je schopen kromě detekce chyb provést i jejich korekci. Jako takový byl doporučen protokol FEC.

Při stanovení vhodného šifrování bylo bráno v úvahu, že rychlost nehraje v úzkopásmovém přenosu telemetrických údajů zas až tak velkou roli. Výsledný systém tedy musel být hlavně jednoduchý, levný a bezpečný. Proto byl tedy doporučen symetrický systém a bloková šifra.

V praktické části bylo sestaveno laboratorní měřicí pracoviště a provedeny různé typy měření. Měření bylo zaměřeno na zkoumání nejrůznějších vlivů, působících nejen na přenášený datový signál, ale pozornost byla věnována i vlivům ovlivňující primární úlohu silového vedení, kterou je přenos elektrické energie.

Bylo zjištěno, že datová komunikace primární úlohu silového vedení neovlivňuje. Dále byla provedena sada měření vlivu rušení na datovou komunikaci. Bylo zjištěno, že vliv rušení se projevil pouze při implementaci obdélníkového signálu do sítě a to ve frekvenčním pásmu které modemy používají pro komunikaci. Toto pásmo bylo v této práci taktéž zjištěno a pohybuje v okolí kmitočtu 80 kHz. Zadání práce bylo splněno v plném rozsahu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PUŽMANOVÁ, Rita. Data po elektrické síti [online]. 2004. Dostupné z URL: <<http://www.etm.cz/obr/datapoelsiti.pdf>>
- [2] NĚMEC, Marek. Sít skrze zásuvku [online]. 2003. Dostupné z URL: <<http://www.zive.cz>>
- [3] PETERKA, Jiří. Powerline, aneb přenos dat po 220 voltech [online]. 2004. Dostupné z URL: <<http://www.earchiv.cz/b01/b0500001.php3>>
- [4] BENEŠ, Bedřich, ZAORÁLEK, Jiří. Dálkové odečty čeká rychlý rozvoj [online]. 2004. Dostupné z URL: <<http://www.gbi.krizik.sk/katalogy/automa.pdf>>
- [5] VANČATA, P. Standardizace širokopásmových systémů přenosu po energetickém vedení [online]. 2005. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/rservice.php?akce=tisk&cislocianku=2005112801>>
- [6] BLAŽEK, Vladimír, SKALA, Petr. Distribuce elektrické energie. [s.l.] : 138 s. VUT BRNO FEKT.
- [7] ŠEBESTA, Vladimír, SMÉKAL, Zdeněk. Signály a soustavy. [s.l.] : VUT BRNO FEKT, 167 s. VUT BRNO FEKT.
- [8] HAVLOVIC, Karel. Moduly pro komunikaci po silovém vedení 230V. [s.l.], 2005. 47 s. ČVUT Praha, Bakalářská práce.
- [9] TRNKA, Miloslav. KOMUNIKACE PO NAPÁJECÍ (ROZVODNÉ) SÍTI. Slaboproudý obzor. 2005, roč. 61, č. 2
- [10] BURDA, Karel. Bezpečnost informačních systémů. [s.l.] : [s.n.], 2005. 104 s. VUT BRNO FEKT.
- [11] KV digitální druhy provozu [online]. 1999 [cit. 2008-11-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.crk.cz/CZ/DIGIC.HTM>>.
- [12] HRASNICA, Halid, ABDEL FATTEH, Haidine, RALF, Lehnert. Broadband powerline communications network design. [s.l.] : [s.n.], 2004. 275 s. ISBN: 9780470857410
- [13] AES-nový šifrovací standart. Časopis soundboss [online]. 2002 [cit. 2008-11-08]. Dostupné z URL: <<http://casopis.soundboss.cz/2002/05/aes-nov-ifrovac-standart.html>>
- [14] ZAORALEK, Jiří. Přenosy dat po elektrické síti – cesta k úsporám. Automa [online]. 2004, č. 11 [cit. 2008-12-04]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32598>
- [15] Technický popis MT21-15 [online]. c2006 [cit. 2008-12-04]. Dostupný z WWW: <http://www.modemtec.cz/documents/MT2115_tp_1169725019.pdf>.
- [16] Fluke VR1710 [online]. c2008 [cit. 2008-12-04]. Dostupný z WWW <http://www.fluke.eu/comx/show_product.aspx?locale=czcs&pid=37819>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>obrázek 1.1: Princip úzkopásmového přenosu dat.</i>	12
<i>obrázek 2.1: Zobecněné schéma PLC přenosové cesty a možných zdrojů rušení.</i>	14
<i>obrázek 7.1: Měřicí pracoviště.</i>	26
<i>obrázek 8.1: Program RSET.</i>	32
<i>obrázek 8.2: Program RSET.</i>	32
<i>obrázek 8.3: Program Hyperterminál.</i>	33
<i>obrázek 8.4: Program Hyperterminál.</i>	33
<i>obrázek 8.5: Program Hyperterminál.</i>	34
<i>obrázek 8.6: Program Hyperterminál.</i>	34
<i>obrázek 8.7: Spektrum bez probíhající komunikace.</i>	35
<i>obrázek 8.8: Spektrum s probíhající komunikací.</i>	35
<i>obrázek 8.9: Graf stavu napětí v síti bez probíhající komunikace.</i>	36
<i>obrázek 8.10: Graf stavu napětí v síti s probíhající komunikací.</i>	37
<i>obrázek 8.11: Schéma měřicího pracoviště s převodníkem GNOME232.</i>	38
<i>obrázek 8.12: Vyhledání převodníku podle jeho MAC adresy.</i>	38
<i>obrázek 8.13: Nastavení parametrů převodníku.</i>	38
<i>obrázek 8.14: Nastavení převodníku GNOME232.</i>	39
<i>obrázek 8.15: Program HW Virtual seriál port.</i>	39
<i>obrázek 8.16: Program HW Virtual seriál port.</i>	40
<i>obrázek 8.17: Graf přenosové rychlosti.</i>	41
<i>obrázek 8.18: Stav napětí v síti se zapnutou konvicí a bez konvice.</i>	42
<i>obrázek 8.19: Graf přenosové rychlosti se zapnutou konvicí a bez konvice.</i>	42
<i>obrázek 8.20: Připojení signálového generátoru k síti.</i>	43
<i>obrázek 8.21: Graf závislosti průměrných přenosových rychlostí na frekvenci sinusového rušivého signálu.</i>	44
<i>obrázek 8.22: Graf závislosti průměrných přenosových rychlostí na frekvenci pilového rušivého signálu.</i>	45
<i>obrázek 8.23: Graf závislosti průměrných přenosových rychlostí na frekvenci obdélníkového rušivého signálu.</i>	45
<i>obrázek 8.24: Graf přenosové rychlosti při přidání obdélníkovým signálem o kmitočtu 80 kHz.</i>	46

SEZNAM TABULEK

<i>tabulka 1.1: Rozdělení kmitočtů.</i>	12
<i>tabulka 7.1: Závislost přenosové rychlosti na délce kabelu.</i>	30
<i>tabulka 8.1: Naměřené hodnoty při sinusovém rušení.</i>	44
<i>tabulka 8.2: Naměřené hodnoty při pilovém rušení.</i>	44
<i>tabulka 8.3: Naměřené hodnoty při obdélníkovém rušení.</i>	44

SEZNAM POUŽITÝCH ZKATEK

PLC	Powerline communications
PSD	Power Spectral Density
AM	Amplitude modulation
FM	Frequency modulation
PM	Phase modulation
ASK	Amplitude shift keying
FSK	Frequency shift keying
PSK	Phase Shift Keying
BPSK	Binary Phase Shift Keying
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
GMSK	Gaussian minimum shift keying
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
ARQ	Automatic Repeat Request
FEC	Forward Error Correction
DES	Data encryption standart
AES	Advanced encryption standart
LAN	Local area network