

PLC (POWER LINE COMMUNICATION)

Z. Orság*, P. Pernes⁺

Summary: *Power line communication (PLC) is progresive kind of communication in home automation. Character of this technology is in this article. Folows descriptipon modulations and useble frequencies. The description of communication module is folow. In conclusion there are used development tools.*

1. Úvod

Datová komunikace využívající jako přenosové médium síťové rozvody (PLC) je vhodná pro aplikace, které vyžadují jako datové spojení v rámci jedné budovy nebo menší oblasti. Pomocí této technologie je možné ušetřit značné množství nákladů na kabeláž. Rychlost datového přenosu může být až 30Mbit/s.

Velkým problémem je, že síťové rozvody nejsou pro přenos dat dobrým médiem. Nejrůznější zátěže produkují značné rušení, parametry kabelů (charakteristická impedance, závislost útlumu na frekvenci, ...) se mohou skokově značně měnit. Při potřebě komunikovat na větší vzdálenosti (řádově kilometry), postaví se do cesty navíc transformátory rozvodných závodů, které utlumí nosné frekvence i poměrně pomalé datové komunikace.

2. Specifikace vlastností síťových rozvodů

2.1 Impedance síťového rozvodu

Z měření laboratoře pro elektromagnetickou kompatibilitu IBM vyplývá, že impedance síťových rozvodů v obytných budovách se pohybuje v rozmezí od cca 1,5 do 80 Ω (při 100kHz). Je určena hlavně dvěma parametry: zátěžemi připojenými k síti (musíme uvažovat všechny zátěže připojené k jednomu transformátoru, tedy i zátěže z okolních budov) a impedanci distribučního transformátoru. Vlastní vodiče mají pouze zanedbatelný vliv.

* Zdeněk Orság, Ing., VUT v Brně, FSI ÚAI, Technická 2, 616 69 Brno, xorsag01@stud.feec.vutbr.cz

⁺ Petr Penes, Ing., VUT v Brně, FSI ÚAI, Technická 2, 616 69 Brno, yperne00@stud.fme.vutbr.cz

Impedance má většinu případů induktivní charakter. Při typické odporové zátěži lze očekávat útlum signálu od 2 do 40 dB dle konkrétních podmínek.

2.2 Rušení

Hlavním zdrojem rušení jsou zařízení připojená na sekundární vinutí distribučního transformátoru. Nejvíce rušení produkují univerzální motory (mixer, vysavač, pračka, atd.), triaky a spínané zdroje. Rušení generované triaky, používanými ve stmívačích osvětlení a regulátorech motorů, je synchronní s 50Hz a má podobu harmonických frekvencí k 50Hz. Rušení generované motory není tak silné, a většinou není synchronní s 50Hz. Spínané zdroje počítačů generují rušení které není synchronní s 50Hz a je značně proměnlivé v závislosti zatížení zdroje.

V podstatě existují dva způsoby, jak spolehlivě (tj. s přijatelnou chybovostí) přenést data po síťovém rozvodu:

- Smířit se se špatnou kvalitou média, a kompenzovat ji vhodnou korekcí chyb. Tj. aby se přenos jevil uživateli bez chyb.
- Najít způsob, jak signál přenést bez zkreslení navzdory nekvalitě média, ale ani v tomto případě se neobejdeme bez kvalitní detekce a korekce chyb.

3. Frekvenční pásmo

V Evropě jsou pro přenos dat po energetické síti povoleny tyto kmitočty, rozdělené do čtyř pásem. Z poznatků o zdrojích rušení, jako jsou spínané zdroje, univerzální motory, tyristorové regulátory a komunikace rozvodných závodů (HDO – Hromadné Dálkové Ovládání) se považuje za spodní hranici pro komunikaci frekvence kolem 100 kHz. Nejvyšší frekvence by měla být dána AM vysílači na dlouhých vlnách, což je právě 150 kHz – viz. norma ČSN EN 50065-1.

Tab1 : Rozdělení kmitočtových pásem

Kmitočtové pásmo 9 kHz (definice počátku vysílacích kmitočtu) do 148,5 kHz je rozděleno na 4 subpásma A, B, C, D viz tab1.

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
D	140 až 148,5 kHz	

Poznámky:**Pásmo**

od 3 kHz do 95 kHz	Použití je omezeno na dodavatele elektrické energie. Kmitočty v tomto pásmu mohou být použity pro nesymetrické signály v objektech odběratelů po schválení dodavatelem elektrické energie
od 9 kHz do 95 kHz	Pro dodavatele elektrické energie nebo pro spotřebitele po souhlasu dodavatele
od 95 kHz do 125 kHz	Jen pro odběratele elektrické energie.
od 125 kHz do 148,5 kHz	Jen pro odběratele elektrické energie, je vyžadován protokol o přistoupení k dohodě.

Protokol o přistoupení k dohodě :

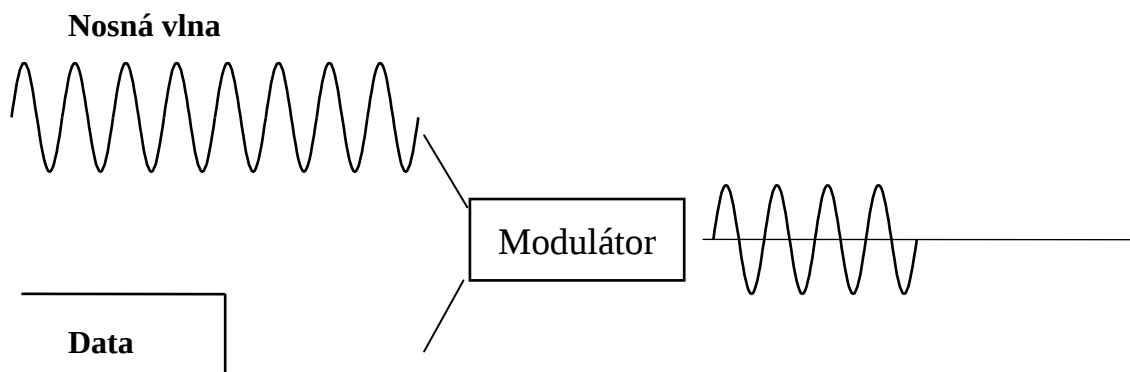
- všechny systémy musí použít kmitočet 132,5 kHz k upozornění, že vysílání pokračuje
- žádný vysílač nesmí vysílat spojitě po dobu přesahující 1 s a po každém vysílání nesmí vysílat znovu po dobu alespoň 125 ms. (pozn. za vysílání je považováno za řadu signálu, v kterých není mezera větší než 80 ms).
- každý vysílač musí být vybaven signálním detektorem, který detekuje, kdy je pásmo v použití (tj. stav, kdy jakýkoliv signál o efektivní hodnotě 80 dB v pásmu 131,5- 133,5 kHz trvající alespoň 4 ms, je přítomen na hlavních vstupních svorkách přístroje)
- 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

Výstupní napětí vysílače v pásmu od 3 kHz do 9 kHz je 89 dB (vztaženo k 1 V). V pásmu od 9 kHz do 148,5 kHz kvazišpičková hodnota klesá lineárně s logaritmem kmitočtu z hodnoty 89 dB na hodnotu 66 dB.

4. Modulace**4.1 ASK (Amplitude Shift Keying) Klíčování amplitudy**

Tato modulace vychází s klasické amplitudové modulace s hloubkou modulace 100 %. Pokud je jsou vstupní data v log. 0 pak na výstupu není žádný signál, v případě log. 1 je signál generován harmonický signál s amplitudou A a nosnou frekvencí f viz (1) a obr.1.

$$\begin{array}{lcl} \text{Vstupní data} & \begin{array}{l} \text{---} 0 \\ \text{---} 1 \end{array} & \begin{array}{l} u = 0 \\ u = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \end{array} \end{array} \quad (1)$$



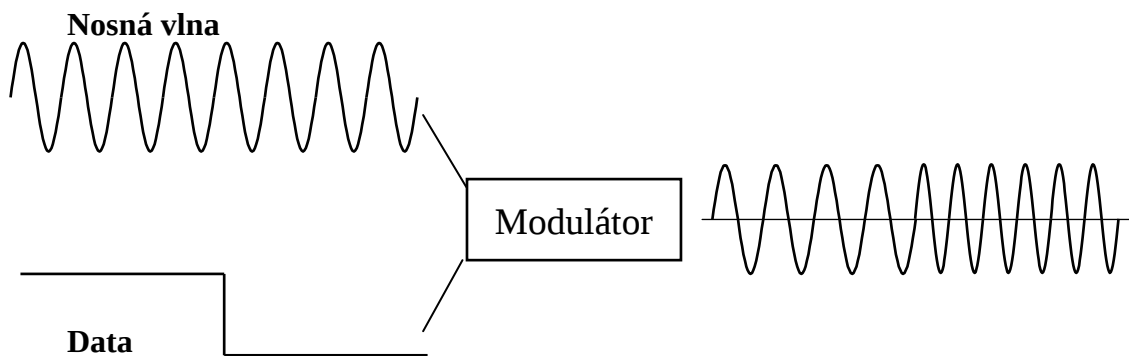
Obr 1: Amplitudové klíčování

Nevýhodou této modulace je ztráta nosného signálu při log. 0 kdy přijímač přijímá pouze šum, který může být interpretován jako signál.

4.2 FSK (Frequency Shift Keying) Klíčování frekvence

Frekvenční klíčování je obdobou frekvenční modulace s dvěma vstupními úrovněmi a dvěmi generovanými frekvencemi. Signál o frekvenci f_1 je generován, pokud jsou vstupní data v log. 0, jinak je generován harmonický signál s frekvencí f_2 . Při této modulaci se amplituda nemění viz (2) a obr.2.

$$\begin{array}{lcl} \text{Vstupní data} & \begin{array}{l} \text{---} 0 \\ \text{---} 1 \end{array} & \begin{array}{l} u = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) \\ u = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot t) \end{array} \end{array} \quad (2)$$



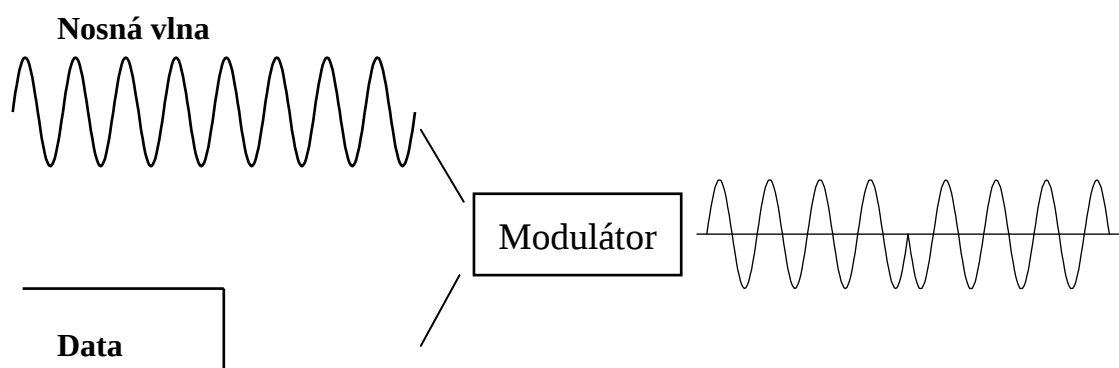
Obr 2: Frekvenční klíčování

Tato modulace klade velké požadavky na šířku pásma vstupních a výstupních filtrů protože obě frekvence musí být od sebe dostatečně vzdáleny, aby bylo možno je od sebe při příjmu rozlišit.

4.3 PSK (Phase Shift Keying) Klíčování fáze

Při použití této modulace dochází ke změně fáze v závislosti na vstupních datech, při log.0 je fáze rovna 0° a při log.1 je fáze 180° . Ke změně amplitudy a frekvence nedochází viz (3).

Vstupní data	0	$u = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$	(3)
	1	$u = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + 180^\circ)$	

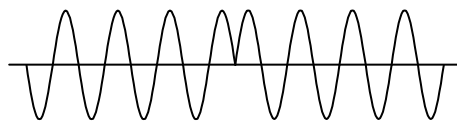
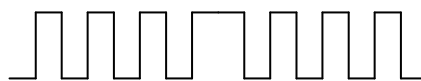


Obr 2: Fázové klíčování

5. Generování dat

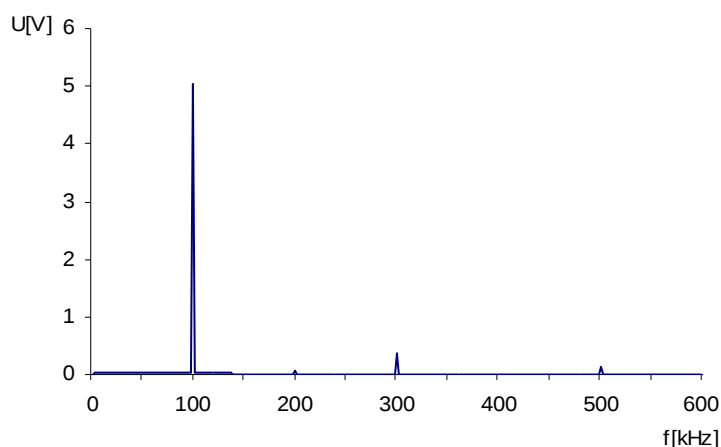
Pro přenos dat byla zvolena Klíčování fáze kvůli jejímu úzkému frekvenčnímu pásmu a také proto že nosná je stále vysílána takže nemůže dojít k rozsynchronování přijímače.

Signál je generován digitálně (s úrovněmi 0 a 5 V) kdy podle hodnoty přenášených dat se mění fáze generovaného signálu o 180° viz obr 4a. Následně je přiveden do filtru typu dolní propust' ve kterém se potlačí vyšší harmonické viz obr 4a.



Obr 4a: Binární generovaný signál
4b: Filtrovaný signál

Filtrovaný signál obsahuje téměř výhradně nosnou frekvenci, první vyšší harmonická je utlumena o 27 dB.



Obr. 5: Spektrum generovaného signálu za dolní propustí

6. Datový rámec

Každý blok dat (množství závisí na aplikaci) je připojen před synchronizační část která je velká dva byty následovanou osmi-bitovou adresou viz tab2.

Synchronizace	Adresa	Data
16 bitů	8 bitů	Dle aplikace

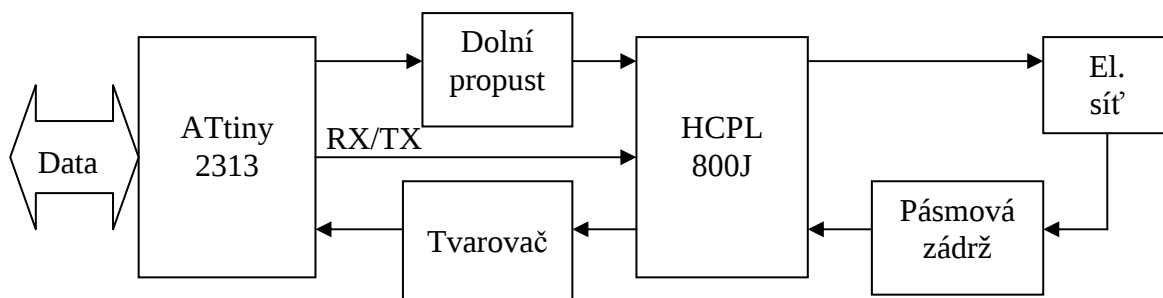
Tab2: Datový rámec

7. Popis komunikačního modulu

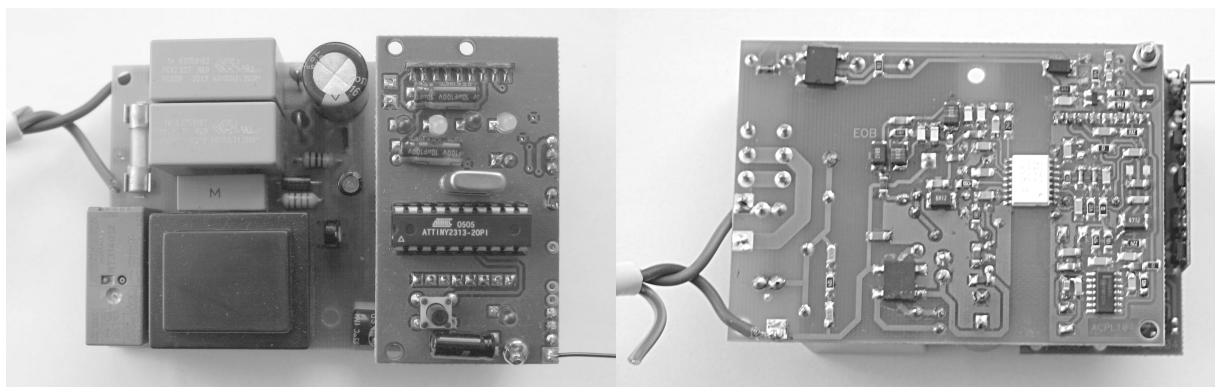
Komunikační modul se skládá ze dvou hlavních částí, obvodu HCPL-800J obsahující optické oddělení, který slouží ke galvanickému oddělení dalších navazujících obvodů od sítě. Dále obsahuje řízený zesilovač vysílaného signálu, který mění zesílení podle zátěže sítě aby měl signál konstantní amplitudu. Hlavním jádrem komunikačního modulu je mikrokontrolér

ATtiny2313, který se stará a komunikaci s nadřazeným systémem, pomocí sériové linky, obsluhuje obvod HCPL-800J, generuje a přijímá data.

Generovaná data jsou z mikrokontroléru přes dolní propust galvanicky odděleny a přivedeny do sítě. Ze sítě jsou přes pásmovou zadrž, která filtruje 50Hz, galvanické oddělení a tvarovač data přivedeny do mikrokontroléru který je zpracuje a odešle nadřazenému systému. Veškeré filtry jsou pasivní. Blokové schéma je uvedeno na obrázku 6. Praktická realizace je uvedena na obr. 7.



Obr 6: Blokové schéma komunikačního modulu



Obr 7: Fotografie komunikačního modulu

7. Vývojové nástroje

Při praktické realizaci komunikačního modulu byla maximální snaha o využití bezplatných programů.

Pro návrh hardwarové části byl využit simulační program PSPICE Student version, který velmi usnadnil návrh filtrů. Pro návrh plošného spoje byl využit CAD systém Eagle.

Řídicí program pro mikrokontrolér je psán v assembleru ve vývojovém prostředí AVR Studio 4 od firmy Atmel. Základní ladění probíhá v simulátoru Vmlab, který umožňuje k mikrokontroléru připojit další periferie.

Pro ukládání programu do mikroprocesoru se využívá programátor firmy Elnec Smartprog2.

8. Závěr

Zařízení bylo realizováno jako počítačový model pro otestování metod použitelných pro generování a příjem přenášených dat. V současné době se nepodařilo kompletně odladit software pro komunikační modul pro použití v reálných podmínkách pro značné problémy s rušením.

Dále by kvalita přenosu šla zlepšit použitím modulaci s rozprostřeným spektrem a tím zmírnit negativní vliv rušení. Další podobnou metodou na zlepšení přenosu by bylo vybírat časové úseky při kterých je přenos nejkvalitnější.

9. Literatura

Šroubek Zdeněk Ing. Ph.D. (2005) Přenos dat a přístup k Internetu po elektrorozvodné síti. *Sdělovací technika* 8/2005

Hlaváč J. (1999) Komunikace po síťovém rozvodu 220V. <http://hw.cz>

Pavelka Ondrej Ing. (2000) Internet ze zásuvky ? Ano, ale... <http://www.elektrorevue.cz>

Norma ČSN EN 50065-1