

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Rádiový přenos dat v bezlicenčních pásmech

Lukáš Ambrus

Bakalářská práce
2012

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš Ambrus**
Osobní číslo: **I09411**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Rádiový přenos dat v bezlicenčních pásmech**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Provedte rešerši dostupných řešení pro přenos dat v bezlicenčních pásmech (např. 434 MHz, 868 MHz, 2,4 GHz) pro spoje LOS a NLOS (fixní i mobilní) s rozbohem možných dosažitelných přenosových rychlostí, dosahu rádiových spojů, antén a dalších parametrů při zohlednění cenové dostupnosti spoje.

V praktické části práce ověřte na vybraném spoji jeho vlastnosti - dosažitelné přenosové rychlosti, možnosti použití směrových a nesměrových antén, chybovost spoje. Po otestování spoje bude stanoveno možné použití pro různé aplikace - přenos zvuku, dat nebo obrazu.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

PECHAČ, Pavel; ZVÁNOVEC, Stanislav. Základy šíření vln : pro plánování pozemních rádiových spojů. 1. vydání. Praha : Ben - technická literatura, 2007. 200 s. ISBN 978-80-7300-223-7

DOBEŠ, Josef; ŽALUD, Václav. Moderní radiotechnika, 1. vydání. Praha : Ben - technická literatura, 2006. 768 s. ISBN 80-7300-132-2

<http://www.aurelwireless.com>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.

Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **12. prosince 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **11. května 2012**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 30. března 2012

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 17. 08. 2012

Lukáš Ambrus

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Ing. Zdeňku Němcovi, Ph.D., za rady, připomínky a návrhy. Dále bych rád poděkoval všem ostatním studentům, kamarádům, kteří mi byli nápomocni v průběhu studia a především rodině, která mě vždy ve studiu podporovala.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá problematikou rádiového přenosu dat v dostupných bezlicenčních pásmech pomocí transceiverů. V první části práce je obecný popis rádiového komunikačního systému, rozbor dostupných modulů včetně jejich možných dosažitelných přenosových rychlostí, dosahu radiových spojů, antén a dalších parametrů. Ve druhé části práce je proveden test přenosu dat pomocí konkrétních modulů a výsledků.

Klíčová slova

ISM; transceiver; bezdrátový přenos dat

Title

Radio Data Transmission in the License-Free ISM Bands

Annotation

Bachelor thesis deals with transceivers for radio data transmission in license-free ISM bands. In the first part of thesis is description of the system, analysis of available transceivers parameters, including their possible maximum transmission speed, range of wireless links, antennas etc. In the second part of thesis is example of simulation and measurement results.

Keywords

ISM; transceiver; radio data transmission

Obsah

Seznam zkratk	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	9
Úvod	10
1 Popis rádiového přenosu dat	11
1.1 Rádiový komunikační systém.....	11
1.1.1 Vysílací část.....	12
1.1.2 Přijímací část	13
1.2 Radiokomunikační rovnice.....	14
1.4 Fresnelovy zóny.....	16
1.5 ISM pásmo.....	17
2 Rádiové moduly	18
2.1 Používané modulace	19
2.1 Dostupné transceivery	20
2.1.1 Jednokanálové modely	20
2.1.2 Vícekanálové modely	23
2.1.3 Antény	28
3 Testovaný transceiver RF650 - 433	29
3.1 Popis vstupů a výstupů modulu	30
3.2 Funkce	31
3.3 Konfigurace modulu	32
3.4 RF650-EVAL	34
3.4.1 Konfigurace	34
3.4.2 Elektrické vlastnosti	35
3.5 Nastavení pro přenos	36
3.6 Přenos dat	38
3.6.1 Šířka pásma	38
3.6.2 Testování přenosu.....	40
Závěr	43
Literatura	45

Seznam zkratek

AVGN	Additive white Gaussian noise
A/D	Analog/Digital
LOS	Line Of Sight
NLOS	Non Line Of Sight
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R	International Telecommunication Union - Radiocommunications
ISM	industrial, scientific and medical
ASK	Amplitude-Shift Keying
OOK	On-Off Keying
FSK	Frequency-Shift Keying
AFSK	Audio Frequency Shift Keying
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
FFSK/MSK	Fast Frequency Shift Keying/Minimum Frequency Shift Keying
SPI	Serial Peripheral Interface
TTL	transistor-transistor-logic
PIFA	Planar Inverted F Antenna
EIRP	Equivalent isotropically radiated power
RF	Radio frequency
CRC	Cyclic redundancy check
SAW	Surface acoustic wave

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Obecné schéma komunikačního systému	11
Obrázek 2 – Komunikační kanál	13
Obrázek 3 – První Fresnelova zóna	16
Obrázek 4 – Blokové schéma obecného digitálního radiového systému	18
Obrázek 5 – Signály ASK, FSK	19
Obrázek 6- Transceiver RF650 – 433 s demo board RF650 EVAL	29
Obrázek 7 – Vstupy a výstupy modulu	30
Obrázek 8 – Blokové schéma	34
Obrázek 9 – DIP switch konfigurace	34
Obrázek 10 – Nastavení přepínače	36
Obrázek 11 – Softwarová konfigurace	37
Obrázek 12 – Šířka pásma 2MHz	38
Obrázek 13 – Šířka pásma 10MHz	39
Obrázek 14 – Šířka pásma 500kHz	40
Obrázek 15 – Plán 1. patra, umístění rádiových pojítek	41

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Pásmo ISM	17
Tabulka 2 – XTR 434	20
Tabulka 3 – RTX MID 3V/ RTX MID 5V	21
Tabulka 4 - RTX – RTLP 434	22
Tabulka 5 - XTR CYP 2,4	23
Tabulka 6 - XTR VF 2,4 LP	24
Tabulka 7 - WIZ 7020A-8	24
Tabulka 8 - WIZ 7020A-4	25
Tabulka 9 - XTR 7020A-4	25
Tabulka 10 - XTR 7020A-8	26
Tabulka 11 – RF650-433	27
Tabulka 12 – Popis pinů	30
Tabulka 13 – Modulační rychlosti	31
Tabulka 14 – Konfigurace modulu	32
Tabulka 15 – Konfigurace DIP switch	34
Tabulka 16 – Modulační rychlosti	35
Tabulka 17 – Elektrické vlastnosti RF650 EVAL	35
Tabulka 18 – Místnost EL101	41
Tabulka 19 – Místnost PC105	41
Tabulka 20 – Respirium 2. patro	42
Tabulka 21 – Respirium 3. patro	42

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá rádiovým přenosem dat a využitím rádiových pojítek, tzv. transceiverů v bezlicenčních pásmech (430MHz, 860MHz a 2,4GHz), které jsou popsány dále.

Bezdrátové připojení je v dnešní době již běžnou záležitostí. Oproti kabelovým připojením je sice méně spolehlivé a nabízí menší přenosové rychlosti, ale i tak v některých případech jsou dostačující. K rušení rádiového připojení u licencovaných pásem by docházet nemělo, ale naopak u bezlicenčních k nějakému rušení občas dochází. Dalšími problémy oproti kabelovému vedení jsou v některých případech nutná přímá viditelnost mezi koncovými body a vlivy počasí.

Kmitočtová pásma se pohybují od extrémně dlouhých vln, které začínají na jednotkách Hz, až do pásma mikrovln, které končí na tisících GHz. Kmitočty, o které se budu v této práci zajímat, leží v pásmu ultra krátkých vln (UKV), neboli v pásmu ultra vysokých frekvencí (UHF). Toto pásmo leží v rozsahu 0,3 – 3GHz a vlnová délka je v rozmezí 1 až 0,1m a je využíváno mnoha aplikacemi. Je to především licencované pásmo, které se například využívá pro pozemní digitální vysílání, mobilní komunikaci a navigaci GPS. Část kmitočtového spektra je však bezlicenční a nemusí se tedy za používání kmitočtů platit. Patří sem kmitočty 433MHz, 868MHz a 2,4GHz, které je uvolněno pro standard IEEE 802.11 (Wi-Fi) nebo Bluetooth.

Cílem teoretické části je popis rádiové cesty, kde je podrobněji popsána část vysílače a přijímače včetně komunikačního kanálu, který se nachází mezi nimi. Uvedena je zde také jedna z nejdůležitějších rovnic z rádiové komunikace, a to radiokomunikační rovnice s popisem jednotlivých částí. Dále je v práci popsána první Fresnelova zóna, na kterou by se nemělo zapomínat, pokud se mezi vysílačem a přijímačem nachází nějaká překážka. Nakonec jsou uvedeny ISM pásma s popisem, jak jsou uvedeny v radiokomunikačním řádu Mezinárodní telekomunikační unie ITU (International Telecommunication Union). V druhé části práce jsou některé dostupné transceivery na trhu, u kterých jsou rozebrány jejich pracovní kmitočty, dosažitelné vzdálenosti, přenosové rychlosti a další parametry.

Na konci této práce je jeden z transceiverů, a to typ RF650-433, testován v bezlicenčním pásmu. Tento modul pracuje v kmitočtovém pásmu 430 až 440MHz.

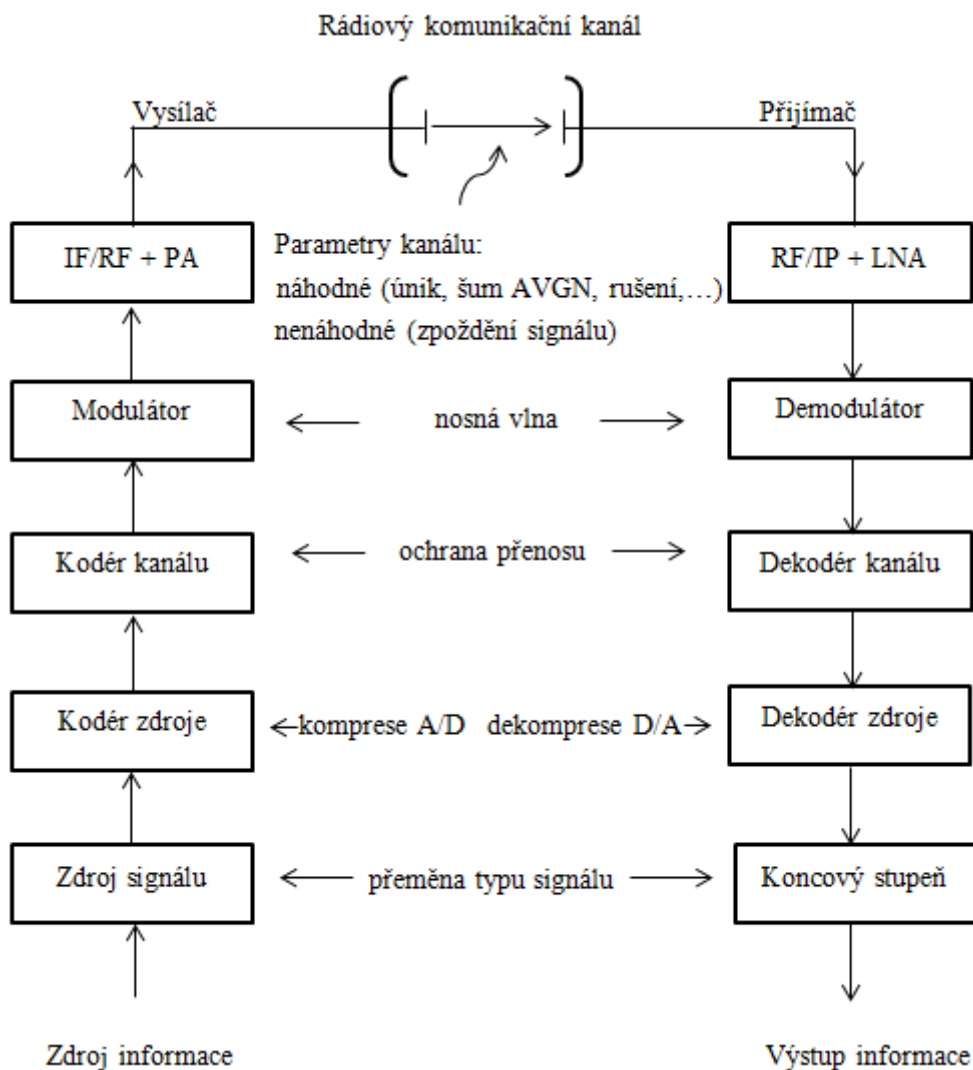
Na závěr bakalářské práce jsou zhodnoceny poznatky, které jsem získal během testování rádiového pojítka.

1 Popis rádiového přenosu dat

Bezdrátový přenos dat je uskutečněn pomocí elektromagnetických vln. Obecně se takový bezdrátový spoj skládá ze dvou stanic (vysílače a přijímače), mezi kterými je daný signál přenášen.

1.1 Radiový komunikační systém

Rádiová přenosová cesta se skládá z vysílací části, rádiového kanálu a přijímací části. Obecné schéma rádiového komunikačního systému je uvedeno níže.



Obrázek 1 – Obecné schéma komunikačního systému

1.1.1 Vysílací část

Zdroj signálu

Zdroj signálu je zařízení, které generuje signál (data) pro přenos. Příkladem je např. mikrofon. Přenášená informace může mít původně charakter neelektrické veličiny, která je zde převedena na elektrický signál. Výstupní signál může být z hlediska času i amplitudy diskrétní nebo spojitý.

Kodér zdroje

V tomto bloku dochází k digitalizování signálu (např. A/D převodník), jestliže již tento signál před tím neměl digitální podobu. Poté dochází k samotnému vlastnímu zdrojovému kódování, přičemž se potlačuje nadbytečná informace, tzv. redundance a nepodstatná informace, tzv. irelevance. Dojde tedy ke zmenšení objemu přenášených dat a též přenosové rychlosti. Účinnost kódování je tím lepší, čím je rychlost bitového toku na jeho výstupu nižší, než na jeho vstupu.

Kodér kanálu

Zajišťuje ochranu informace proti chybám, a to tak, že se k užitečné informaci naopak přidá určitá redundantní složka, která je přesně kontrolována. Úkolem této přidané složky je potlačení šumu a interferencí způsobující chybovost při přenosu. U jednoduchého systému se každý informační bit přenáší m -krát (m je celé číslo). Naopak u složitějších systémů se informace sdružuje do sekvencí po k -bitech, k nimž se přidávají vhodné algoritmy, které jsou zakódovány po n -bitech. Přidaná redundance je v poměru n/k . Rychlost kanálového kódování je převrácená hodnota, což je k/n . Zvýšením rychlosti je nutné také rozšířit šířku přenosového pásma. [12]

Modulátor

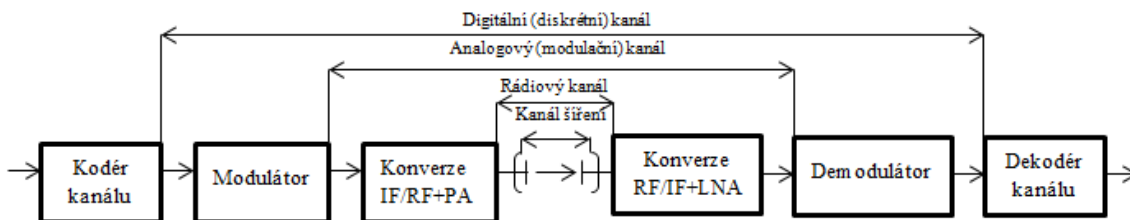
Modulace je proces, při kterém dochází k ovlivňování jednoho z parametrů (amplituda, kmitočet, fáze) nosné vlny podle přítomného modulačního signálu.

V tomto bloku dochází k modulaci pomocí potřebného modulačního způsobu zpravidla na vysokofrekvenční nebo mikrovlnou nosnou vlnu. Poté lze informaci přenášet po vhodném radiovém komunikačním kanálu.

Komunikační kanál

Je to fyzikální prostředí, které slouží k přenosu signálu mezi vysílačem a přijímačem. Na radiový komunikační kanál působí parametry náhodného a nenáhodného charakteru. K užitečnému signálu se přidává například náhodný tzv. aditivní Gaussovský bílý šum AVGN (additive white Gaussian noise). Dále zde mohou působit náhodná rušení (interference) přírodního charakteru např. bouřky, anebo „průmyslového“ charakteru, což jsou např. automobily a vlaky. Uplatňují se také různé druhy úniků (fadingu) opět náhodného charakteru. Mezi nenáhodné typy (deterministické) patří za určitých podmínek doba šíření signálu kanálem, jeho fázový posuv, atd. Pokud jsou tyto jevy konstantní, tak se při studiu nemusí uvažovat.

Na následujícím obrázku jsou znázorněny komunikační kanály.



Obrázek 2 – Komunikační kanál

1.1.2 Přijímací část

Demodulátor

Přijímaný signál je zde demodulován. Takto vzniklý signál se zpravidla shoduje se signálem na výstupu kodéru kanálu na vysílací straně, až na ovlivnění šumem a zkreslením vzniklém při přenosu přes rádiový kanál.

Dekodér kanálu

Tento dekodér díky znalosti algoritmu, kterým byla redundantní složka přidávána v bloku kanálového kodéru, umožní získání požadované informace i ze signálu, který je ovlivněn šumem.

Dekodér zdroje

Realizuje opačnou operaci než kodér zdroje. Redundanci potlačenou v kodéru je možné opět obnovit. Zatímco irelevanci již obnovit žádným způsobem nelze. Ale tuto ztrátu příjemce vůbec nepostřehne.

Koncový stupeň

V tomto bloku konečně dochází k převodu elektrického signálu případně na neelektrickou výstupní informaci. Příkladem koncového stupně může být reproduktor.

1.2 Radiokomunikační rovnice

Radiokomunikační rovnice je jedním z nejdůležitějších vztahů radiové komunikace. Vyjadřuje závislost mezi vysílaným a přijímaným výkonem vysílače a přijímače. Jsou zde také zohledněny podstatné faktory, které mohou přenos ovlivnit. Když nebudeme počítat se ztrátami, je tato rovnice závislá pouze na vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem. Ostatní parametry jsou konstantní.

$$P_p = \frac{dP}{dS} A_{ef} \frac{1}{L} = P_v G_v \frac{1}{4\pi R^2} G_p \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{1}{L} = P_v G_v G_p \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \frac{1}{L} = EIRP \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_p \frac{1}{L} \quad (1)$$

- **Vyzařovaná hustota výkonu**

$$\frac{dP}{dS} = P_v G_v \frac{1}{4\pi R^2} [\text{W/m}^2], \quad (2)$$

kde P_v - celkový střední výkon vysílače odevzdaný do vstupu jeho antény

G_v - zisk vysílací antény

R - vzdálenost mezi vysílací a přijímací anténou

- **Efektivní výkon antény**

$$A_{ef} = G_p \frac{\lambda^2}{4\pi}, \quad (3)$$

kde G_p - zisk přijímací antény

$$\lambda - \text{vlnová délka, která je dána vztahem } \lambda = \frac{c}{f} [\text{m}] \quad (4)$$

c - rychlost světla

f - kmitočet

- **Efektivní izotropický vyzařovaný výkon EIRP**

Je dán jako součin vysílaného výkonu P_v a zisku vysílací antény G_v .

$$EIRP = P_v G_v \quad (5)$$

- **Ztráty L**

Ztráty mohou být např.:

- v atmosféře L_{atm} – ke ztrátám dochází především v dolních vrstvách například vlivem vodních par a smogu. Při hustém dešti mohou ztráty dosahovat až řádu desítek decibelů (v některých pásmech).
- polarizační (L_P) – jsou způsobeny dopadajícími elektromagnetickými vlnami, které mají odlišnou polarizaci než samotná anténa.
- vliv terénu ($L_{\text{terénu}}$) - platí pouze pro nízké kmitočty. Jsou to jednotky až desítky dB.
- nepřesným zaměřením antény L_φ – vznikají ztráty, není-li vysílací nebo přijímací anténa přesně zaměřena do bodu příjmu. Často jsou u směrových antén, tedy u antén s úzkým vyzařovacím svazkem. [12]

Pomocí radiokomunikační rovnice lze dále určit poměr nosná/šum SNR.

$$SNR = \frac{P_p}{kTsB}, \quad (6)$$

kde P_p – výkon přijímače

k – Boltzmannova konstanta = $(1,380\ 6488 \pm 0,000\ 0013) \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ [11]

B – šířka pásma

T – šumová teplota systému

1.4 Fresnelovy zóny

Šíření vln mezi dvěma anténami, kdy přímá spojnice není vůbec zastíněna, se nazývá LOS (Line Of Sight). Analogickým případem je spojení NLOS (Non Line Of Sight), kdy je spojnice zastíněna nebo ovlivněna nějakou překážkou. V tomto případě je důležité znát Fresnelovu zónu.

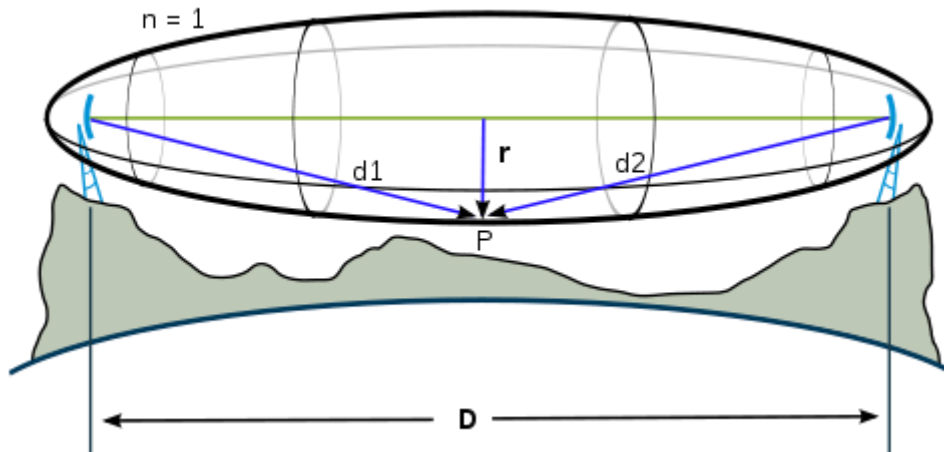
Tyto zóny mezi dvěma anténami jsou přibližně ve tvaru elipsoidu. Těchto zón je několik, ale nejdůležitější je první, která by měla být alespoň z 60% volná. Když překážka zasahuje do této zóny, spojení se nezruší, ale dojde ke snížení přijímaného výkonu. Vždy dvě sousední Fresnelovy zóny se ruší. Výpočet první Fresnelovy zóny je vidět v následujícím uvedeném vztahu.

$$F_1 = \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d_1 + d_2}}, \quad (7)$$

kde λ - vlnová délka

d_1 - vzdálenost od překážky

d_2 - vzdálenost od překážky



Obrázek 3 – První Fresnelova zóna [10]

1.5 ISM pásmo

Toto pásmo je globálně volně k použití a není tedy potřeba žádat o přidělení kmitočtového pásma ani za něj poté platit. Musejí se však dodržet podmínky pro vyzářený výkon a řešení vysílače a přijímače. V Radiokomunikačním řádu ITU jsou pro průmyslové, vědecké nebo lékařské využití ISM uvedena pásma:

Tabulka 1 - Pásma ISM [6]

Pásmo	Poznámky
9 – 14 kHz	Uvádí jen ECA
6765 – 6795 kHz	5.138
13 553 – 13567 kHz	5.150
26 957 – 27 283 kHz	5.150
40,66 – 40,70 MHz	5.150
433,05 – 434,79 MHz	5.138, kromě zemí uvedených v 5.280
902 – 928 MHz	5.150, jen v Oblasti 2
2400 – 2500 MHz	5.150
5725 – 5875 MHz	5.150
24 – 24,25 GHz	5.150
61 – 61,5 GHz	5.138
122 – 123 GHz	5.138
244 – 246 GHz	5.138

„Využívání pásem uvedených v poznámce 5.138 pro ISM podléhá zvláštnímu oprávnění příslušné správy v souhlasu s ostatními správami, jejichž radiokomunikační služby by mohly být dotčeny. Při uplatňování tohoto ustanovení správy patřičně zohlední nejnovější příslušná doporučení ITU-R.“ [5]

„V souladu s poznámkou 5.150 musí radiokomunikační služby, provozované v těchto pásmech, strpět škodlivá rušení. Zařízení ISM provozovaná v těchto pásmech podléhají ustanovení č. 15.13 Řádu.“ [5]

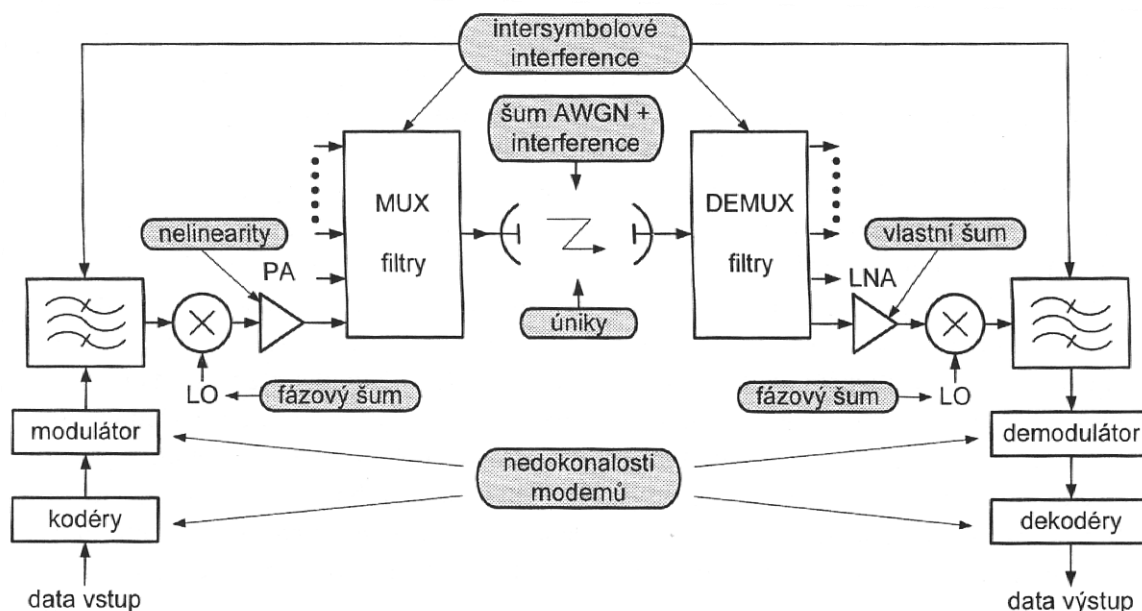
„Poznámka 5.280 - V Německu, Rakousku, Bosně a Hercegovině, Chorvatsku, Makedonii, Lichtenštejnsku, Černé Hoře, Portugalsku, Slovinsku, Srbsku a Švýcarsku je pásmo 433,05–434,79 MHz (střední kmitočet 433,92 MHz) určeno pro průmyslové, vědecké a lékařské (ISM) využití. Radiokomunikační služby těchto zemí, pracující v tomto pásmu, musí strpět škodlivé rušení, které může být působeno tímto využíváním. Zařízení ISM provozované v tomto pásmu podléhá ustanovení č. 15.13 Řádu.“ [4]

Jak je v tabulce uvedeno, pásmo bezlicenčních kmitočtů je velmi široké od jednotek MHz do stovek GHz. V tomto pásmu ISM však není zaručen příjem nebo vysílání bez možnosti rušení tohoto signálu. Mezi tyto kmitočty sem spadají také například technologie Wi-Fi a Bluetooth.

2 Rádiové moduly

Rádiové moduly jsou zařízení pro bezdrátový přenos dat, které se využívají mimo jiné v bezlicenčních pásmech. Moduly se rozdělují podle funkce na vysílače, přijímače nebo kombinaci vysílače a přijímače, takzvané transceivery. Další dělení je podle kmitočtu, na kterém pracují, podle kanálů na jednokanálové a vícekanálové, anebo podle použité modulace a dalších kritérií.

Rádiová pojítka pracují v režimu poloduplexním (half duplex), nebo plně duplexním (full duplex). Poloduplexní režim znamená, že přenos signálu probíhá střídavě v jednom a druhém směru, nikdy ne současně. K tomu jsou použity jeden nebo dva kmitočty, kde se pomocí jednoho vysílá a druhého přijímá. U plně duplexního režimu probíhá přenos signálu současně v obou směrech na stejném kmitočtu nebo dvěma kmitočtech.



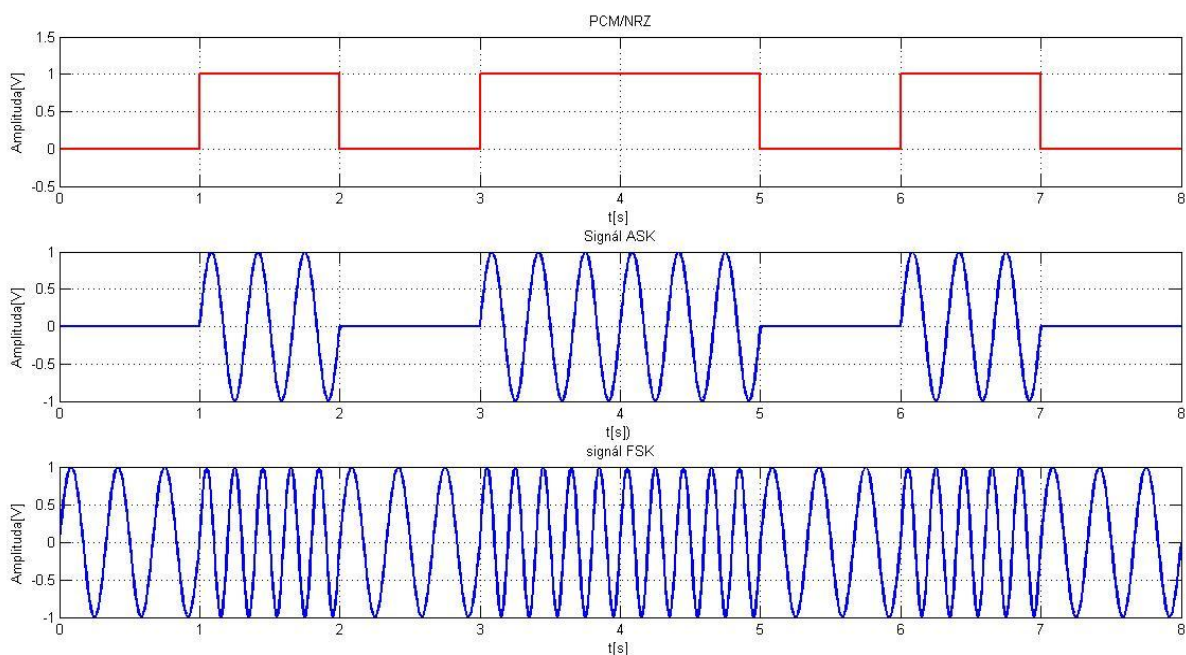
Obrázek 4 – Blokové schéma obecného digitálního rádiového systému [11]

2.1 Používané modulační techniky

Mezi modulační techniky používané u transceiverů patří FSK (Frequency Shift Keying), AFSK (Audio Frequency Shift Keying), GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying), FFSK/MSK (Fast Frequency Shift Keying/Minimum Frequency Shift Keying). Ale také modulační technika OOK (On-Off Keying), což je jedna ze základních modulací ASK (Amplitude Shift Keying).

Modulace ASK (OOK) je diskretní amplitudová modulace nosné vlny, kde se přenáší informace pomocí amplitudy nosného signálu. Výsledný signál vznikne ovlivněním nosné vlny modulačním signálem s diskretními stavy. Nejčastěji to je unipolární NRZ signál, kdy jeden stav odpovídá maximální amplitudě - logické jedničky a druhý stav minimální amplitudě - logické nule. Nevýhodou této modulace je velká výkonová náročnost a při proměnné amplitudě vysílaného signálu nastávají problémy ve výstupních zesilovačích, proto se tato modulace příliš nepoužívá.

Modulace FSK (2FSK) je diskretní frekvenční modulace, kde se informace přenáší pomocí změny kmitočtu modulovaného signálu. Dvoustavová FSK využívá dva kmitočty, kde každému z nich odpovídá jedna logická úroveň. Například po dobu vysílání logické jedničky je vysílán jeden kmitočet a při logické nule je zase vysílán kmitočet druhý. Změny kmitočtu probíhají buď spojitě, nebo nespojitě. Při spojitých změnách je spektrum modulačního signálu užší. Při nespojitých změnách vznikají ostré přechody mezi dvěma kmitočty nosné a tak vznikají poměrně velké postranní laloky (široké spektrum). Ty poté mohou rušit okolní kanály. Řešením je předfiltrace modulačního signálu, aby neobsahoval strmé přechody.



Obrázek 5 – Signály ASK, FSK

U vybraného testovaného transceiveru je použita modulace GFSK. Základní princip je stejný jako u FSK modulace, kdy je signál odpovídající logické jedničce reprezentován kladnou změnou kmitočtu a logická nula naopak změnou zápornou. Rozdíl u modulace GFSK je v tom, že binární signál před vstupem do FSK modulátoru prochází Gaussovým filtrem (dolní propust), který výrazně omezí frekvenční pásmo modulovaného signálu.

2.1 Dostupné transceivery

Na trhu je mnoho transceiverů od různých firem. Mezi tyto výrobce se řadí například společnost Aurel nebo RF Solutions. Obě nabízí celou řadu produktů, včetně modulů popsaných v této práci. Aurel má na výběr jak jednobandové (Single channel) tak vícebandové (Multi channel) transceivery. RF Solutions má v nabídce pouze vícebandová řešení. Některé moduly těchto společností jsou popsány níže [1], [7].

2.1.1 Jednobandové modely

Mezi tyto modely například patří: XTR 434, RTX RTLP 434, RTX MID 3V, RTX MID 5V.

XTR 434 (XTR 434L)

FM transceiver je vhodný zejména k realizaci obousměrného bezdrátového přenosu dat. Vzhledem k velmi nízkému klidovému proudu je vhodný i pro bateriové aplikace. Dále se vyznačuje vysokým vysílacím výkonem, zvýšenou odolností proti rušení na přijímací straně a především vysokou rychlostí přenosu dat.

Tabulka 2 – XTR 434 [1]

	Min	Typické	Max	Jednotky
Napájecí napětí	4,5	5	5,5	VDC
Napájecí proud Tx ON	24	28	32	mA
Napájecí proud Rx ON	10	11	12	mA
Napájecí proud Rx/Tx OFF			100	nA
Pracovní kmitočet		433,92		MHz
Citlivost		-100	-102	dBm
Šířka pásma	10		50	kHz
Tx výkon			10	dBm
Impedance antény		50		Ω
Rychlost spínání Rx/Tx			1/1	ms
Pracovní teplota	-20		+80	$^{\circ}\text{C}$
Maximální přenosová rychlost XTR 434/XTR 434L			100/50	Kbps
Modulace		FSK		

RTX MID 3V/ RTX MID 5V

Tento modul pracuje v bezlicenčním pásmu 433,92MHz v poloduplexním režimu. Využívá modulaci ASK a rychlé přepínání mezi Tx a Rx. Maximální rychlost je kolem 10kbit/s a je kompatibilní s RS232. Modul je ve verzi pro 3V a 5V.

Tabulka 3 – RTX MID 3V/ RTX MID 5V [1]

	Min	Typické	Max	Jednotky
Napájecí napětí RTX MID 3V (RTX MID 5V)	2,1 (4,5)	3 (5)	3,6 (5,5)	VDC
Napájecí proud Tx ON		13	20	mA
Napájecí proud Rx ON		4,5	6,5	mA
Napájecí proud Rx/Tx OFF			8	μA
Pracovní kmitočet		433,92		MHz
Citlivost		-106		dBm
Tx výkon	8	10		dBm
Impedance antény		50		Ω
Maximální přenosová rychlost			9600	bps
Modulace		ASK		
RF pásmo		600		kHz
Rychlost přepínání:				
PWR → Rx		480		μs
PWR → Tx		420		μs
Tx → Rx		260		μs
Rx → Tx		400		μs

RTX-RTL P 434

SAW transceiver pracující na kmitočtu 433,92MHz v poloduplexním režimu, s malou spotřebou v přijímací části a nízkým napájecím napětím.

Tabulka 4 - RTX – RTL P 434 [1]

	Min	Typické	Max	Jednotky
Napájecí napětí		3		VDC
Napájecí proud Tx ON	15		17	mA
Napájecí proud Rx ON	70	80	90	μA
Pracovní kmitočet		433,92		MHz
Citlivost		-95		dBm
Tx výkon		10		dBm±2dB
Impedance antény		50		Ω
Pracovní teplota	-20		80	°C
Modulace		ASK		
RF pásmo			2,5	kHz
Rychlost spínání			1	s
Rychlost přepínání			500	ms

2.1.2 Vícekanálové modely

Mezi modely firmy Aurel například patří: XTR CYP 2.4, XTR 7020A-4, XTR 7020A-8, WIZ 7020A-4, WIZ 7020A-8, XTR VF 2.4 LP. Společnost RF Solutions nabízí například transceiver RF650-433 (868).

XTR CYP 2.4

Pracuje v ISM pásmu 2,4GHz a je koexistenční s Wi-Fi a Bluetooth a dalšími bezdrátovými technologiemi pracujícími v tomto pásmu. Modul může být připojen také k mikrokontroléru a k jednomu nebo více externím zařízením pomocí rozhraní SPI.

Tabulka 5 - XTR CYP 2,4 [1]

	Min	Typické	Max	Jednotky
Napájecí napětí	2,7	3,3	3,6	VDC
Napájecí proud Tx ON		100	120	mA
Napájecí proud Rx ON		60		mA
Napájecí proud (pohotovostní režim)		0,25		μA
Pracovní kmitočet	2402		2481	MHz
Citlivost přijímače		-95		dBm
RF výkon (ERP)	-14		15	dBm
Pracovní teplota	0		70	°C
Maximální přenosová rychlost			64	kbps
Modulace		GFSK		
Dosah		150		m
Počet kanálů		78		
Šířka pásma		1		MHz

XTR VF 2.4 LP

Působí v ISM pásmu 2,4GHz, je koexistenční s Wi-Fi a Bluetooth a dalšími bezdrátovými technologiemi pracujícími v tomto pásmu. Modul může být připojen také k mikrokontroléru a k jednomu nebo více externím zařízením pomocí rozhraní SPI.

Tabulka 6 - XTR VF 2,4 LP [1]

	Min	Typické	Max	Jednotky
Napájecí napětí	1,8		3,6	VDC
Napájecí proud Tx ON		34		mA
Napájecí proud Rx ON		21		mA
Napájecí proud (pohotovostní režim)		0,8		μA
Pracovní kmitočet	2400		2497	MHz
Citlivost přijímače 250kbit/s		-93		dBm
RF výkon (ERP)	-35		4	dBm
Pracovní teplota	0		70	°C
Maximální přenosová rychlost (bez DSSS)	16		250 (1Mbps)	kbps
Modulace		GFSK		
Počet kanálů		98		
Šířka pásma		1		MHz

WIZ 7020A-8

Tento modul s integrovanou anténou pracuje v poloduplexním režimu.

Tabulka 7 - WIZ 7020A-8 [1]

	Min	Typické	Max	Jednotky
Napájecí napětí	4	5	10	VDC
Napájecí proud Tx		45		mA
Napájecí proud Rx mode		36		mA
Pracovní kmitočet	868		870	MHz
Citlivost		-100		dBm
Tx výkon		2		dBm
Impedance antény		50		Ω
Vstupní přenosová rychlost	9600, 19200, 38400, 57600, 115200			bps
Modulace		FSK		
Dosah			300	m
Počet kanálů		7		

WIZ 7020A-4

Modul s integrovanou anténou, který pracuje v poloduplexním režimu. Přenos a příjem digitálních dat je v TTL RS-232 formátu.

Tabulka 8 - WIZ 7020A-4 [1]

	Min	Typické	Max	Jednotky
Napájecí napětí	4	5	10	VDC
Napájecí proud Tx		45		mA
Napájecí proud Rx mode		36		mA
Pracovní kmitočet	433		434	MHz
Citlivost (při 115200 bps)		-100		dBm
Tx výkon		2		dBm
Impedance antény		50		Ω
Vstupní přenosová rychlost	9600, 19200, 38400, 57600, 115200			bps
Modulace		FSK		
Dosah			300	m
Počet kanálu		10		

XTR 7020A-4

Vícekanálový transceiver představuje jednoduché a poměrně levné řešení přenosu dat. Integrovaný mikroprocesor přijímá data vstupující z TTL logiky RS-232. Technika store and forward umožňuje odeslání dat 240 bajtů z maximální délky paketu.

Tabulka 9 - XTR 7020A-4 [1]

	Min	Typické	Max	Jednotky
Napájecí napětí	2,7	3,3	3,6	VDC
Napájecí proud Tx (-8dBm)		20		mA
Napájecí proud Tx (10dBm)		31		mA
Napájecí proud Rx mode		26		mA
Napájecí proud (pohotovostní režim)		8	10	μ A
Pracovní kmitočet	433,19	433,96	434,57	MHz
Citlivost (při 115200 bps)		-106		dBm
Tx výkon	-8		10	dBm
Impedance antény		50		Ω
Vstupní přenosová rychlost	9600, 19200, 38400, 57600, 115200			bps
Modulace		FSK		
Dosah			300	m
Počet kanálu		10		

XTR 7020A-8

Vícekanálový transceiver s integrovaným mikroprocesorem, který přijímá data z TTL. Pracuje v pásmu 869,19kHz až 869,87kHz. Má možnost výběru přenosové rychlosti.

Tabulka 10 - XTR 7020A-8 [1]

	Min	Typické	Max	Jednotky
Napájecí napětí	2,7	3,3	3,6	VDC
Napájecí proud Tx (-8dBm)		20		mA
Napájecí proud Tx (10dBm)		31		mA
Napájecí proud Rx mode		26		mA
Napájecí proud (pohotovostní režim)		8	10	μA
Pracovní kmitočet	869,19		869,87	MHz
Citlivost (při 115200 bps)		-100		dBm
Tx výkon	-8		10	dBm
Impedance antény		50		Ω
Vstupní přenosová rychlost	9600, 19200, 38400, 57600, 115200			bps
Modulace		FSK		
Dosah			300	m
Počet kanálu		10		
Rychlost přepínání:				
PWR → Rx		<5		ms
Tx → Rx		<5		ms
Rx → Tx		<5		ms

RF650-433

Tento testovaný transceiver pracuje na kmitočtu 430-440MHz. Využívá modulaci GFSK a má možnost uživatelské volby pásma.

Tabulka 11 – RF650-433 [7]

	Min	Typické	Max	Jednotky	Poznámky
DC ÚROVNĚ					
<i>Napájecí napětí</i>	1,9	3,3	3,6	VDC	1
<i>Napájecí proud (vysílací režim)</i>	11		30	mA	
<i>Napájecí proud (přijímací režim)</i>		12,5		mA	
<i>Napájecí proud (pohotovostní režim)</i>		125		μA	
<i>Data in/out HIGH</i>	Vcc-0,3		Vcc+0,3	V	
<i>Data in/out LOW</i>	0		0,3	V	
RF					
<i>Pracovní kmitočet modulu RF650-433</i>	430		440	MHz	2
<i>Počet kanálů</i>	100				
<i>Modulace</i>	GFSK				
<i>Dosah</i>		250		m	
<i>Čitlivost</i>		-100		dBm	
<i>Vysílací RF výkon</i>		+10		dBm	
<i>Frekvenční odchylka</i>		±50		kHz	
<i>Datová rychlost GFSK Manchester kódu</i>		100		kbps	
<i>Provozní teplota</i>	-20		+80	°C	
<i>Skladovací teplota</i>	-40		+100	°C	
DYNAMICKÉ ČASOVÁNÍ:					
<i>Stabilní příjem dat po zapnutí</i>		30		ms	
<i>Zapnutí do plného provozu</i>		30		ms	
<i>Pohotovostní režim → RX</i>		1		ms	
<i>Pohotovostní režim → TX</i>		1		ms	

Poznámky:

1. Napájecí napětí musí mít zvlnění <10mV
2. Pracovní frekvence musí být zvolena v souladu s krátkým regulačním rozsahem zařízení v oblasti provozu.

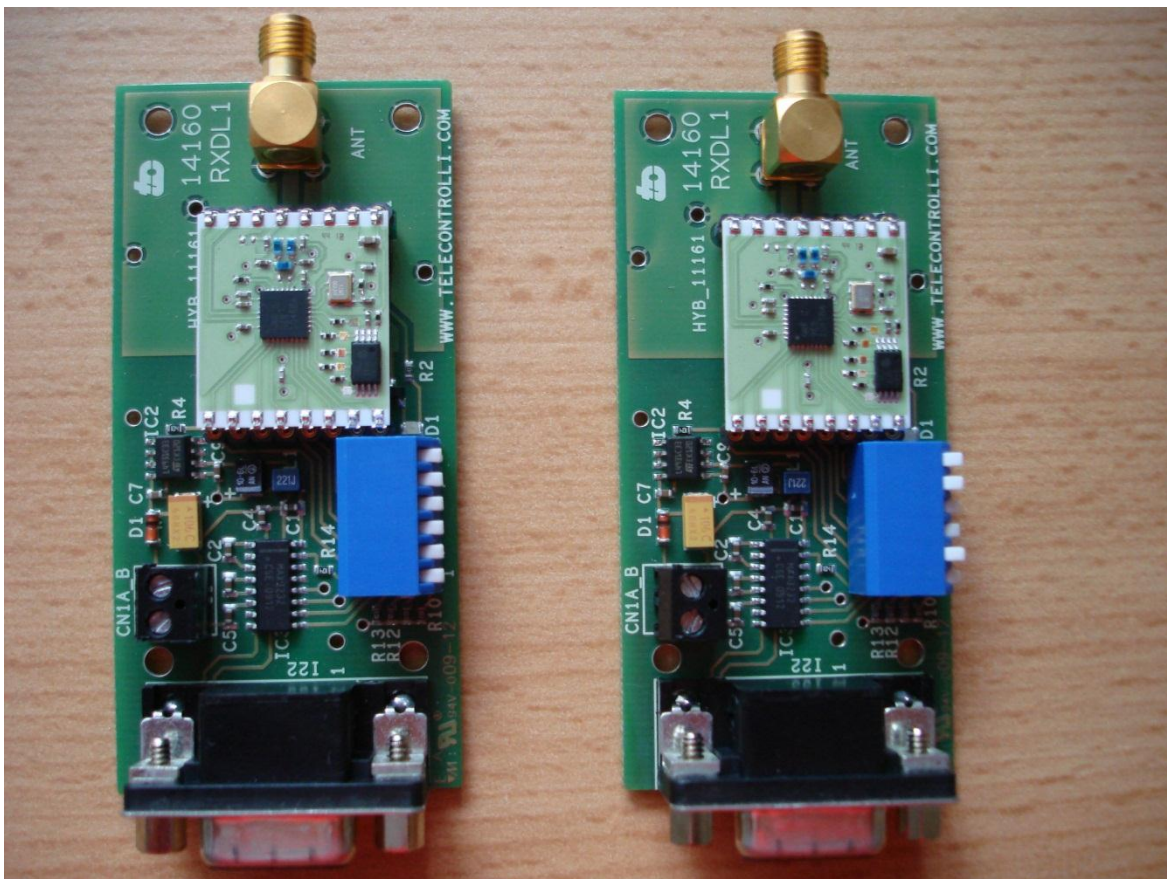
2.1.3 Antény

Impedance antén je u všech modulů 50Ω . Použitím jiných druhů antén není zaručena správná funkce. U jednokanálových transceiverů jsou doporučeny prutové antény s délkou kolem 17cm a průměrem okolo 1mm. Vícekanálové moduly pracující na 2,4GHz využívají antény PIFA, což jsou planární antény typu obrácené F (Planar Inverted F Antenna) a mohou být vyleptány jako plošný spoj. Ostatní vícekanálové transceivery mají doporučeny antény smyčkové.

3 Testovaný transceiver RF650 - 433

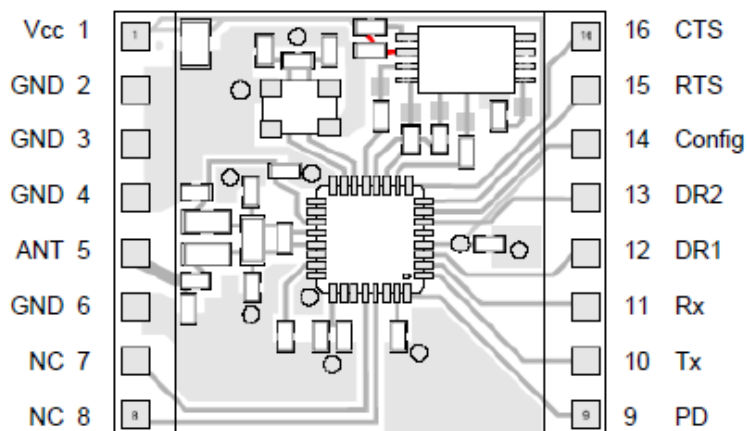
Tento transceiver, od společnosti RF Solutions, poskytuje bezdrátovou komunikaci v bezlicenčním pásmu 433MHz. Pracuje v uživatelsky volených pásmech, tzn., že může využívat jakéhokoliv kanálu po 100 kHz krocích v rozmezí 430 – 440 MHz. Využívá modulaci GFSK a jeho přenosová rychlost se pohybuje až kolem 100 kbit/s a dosah přenosu činí 250 m.

Parametry transceiveru viz Tabulka 11 – RF650-433.



Obrázek 6- Transceiver RF650 – 433 s demo board RF650 EVAL

3.1 Popis vstupů a výstupů modulu



Obrázek 7 – Vstupy a výstupy modulu [7]

Tabulka 12 – Popis pinů [7]

Číslo pinu	Název	Typ	Popis
1	Vcc	Napájení	Napájení, oddělit keramickým kondenzátorem 100n
2, 3, 4, 6	GND	Zem	Zem
5	Anténa	IN	50Ω vstup/výstup, kapacitně izolované od vnitřního okruhu
7, 8	NC	-	-
9	PD	IN	Vypnutí. Snížení výkonu v pohotovostním režimu.
10	Tx	IN	Vysílací vstup z hostitelského radiče. Vstupní data k vysílači mohou být přímo propojena s CMOS, řízeným stejným napájecím napětím jako je transceiver.
11	Rx	OUT	Přijímací výstup dat hostitelského radiče (CMOS) zastupuje pravdivá data dodávaná do vysílače.
12, 13	DR1, DR2	IN	Datová rychlost (HOST)
14	Konfigurace	IN	HIGH pro normální operace, LOW pro konfiguraci
15	RTS	IN	Terminál oznamuje signálem modemu, že cesta je volná Logická „0“ je žádost pro odeslání. LOW, Host je připraven poslat data do modulu nebo je připraven data přijímat.
16	CTS	OUT	Modem oznamuje signálem terminálu, že cesta je volná Logická „0“ clear to send. HIGH když je modul zaneprázdněn

Tabulka 13 – Modulační rychlosti [7]

DR2 (pin13)	DR1 (pin12)	Modulační rychlost [BAUD]
0	0	4,800
0	1	9,600
1	0	19,200
1	1	38,400

3.2 Funkce

Při nastavení pinu PD na hodnotu HIGH dochází ke čtení nastavené datové rychlosti na pinech DR1 a DR2. Když bude pin PD na LOW, systém se uvede do pohotovostního režimu.

Velikost datových paketů je nastavena během konfigurace a musí být stejná pro přijímač i vysílač, jinak by pakety byly ztraceny. Pokud transceiver přijímá méně bytů, než je přednastaveno, pak po 10ms od posledního bytu Hosta bude daný paket zpracován (rozšířen pro splnění předvolby) a přenesen.

Optimalizací datové rychlosti v režimu bod-bod, kde je přenos dat většinou jedním směrem, může být velikost paketu pro jeden směr nastavena na maximální a pro směr druhý, kterým se například realizují odpovědi, na velikost menší.

Pin RTS slouží pro přepis hodnoty časového limitu. Přenos dat začne po odeslání krátkého datového paketu a po nastavení pinu RTS na hodnotu HIGH po posledním poslaném bytu do modulu.

Po vypnutí pohotovostního režimu nejsou žádné datové pakety přijímány.

Každý modul RF650 má svou vlastní přednastavenou adresu 7E7E7E7E. Každá přijatá data jsou prozkoumána. Hlavička adresy vložená do datového paketu je porovnána s adresou RF650. Pouze přijatá data s odpovídající adresou mohou být zpracována. Ostatní budou ztracena.

Sériová data obsahují 8 datových bitů, žádnou paritu, 1 stop bit a řízení toku je pomocí hardwaru.

Provozní režimy RF650:

ONE TO ONE – datová komunikace bod-bod

BROADCAST – jedna Master adresa u více modulů současně

ONE TO MANY – síť složena z jednoho Masteru a více Slavů (přijímače mají stejnou adresu)

MANY TO ONE – vysílače posílají vše na jednu adresu přijímače

Moduly lze využít v bezdrátových aplikacích, jako je například zabezpečení objektů, dálkové telemetrie a dálkového monitorování průmyslových objektů. Svými malými rozměry a nízké spotřebě se také uplatní u přenosných bateriově napájených přístrojů, jako jsou ruční terminály.

3.3 Konfigurace modulu

Ke změně konfigurace dojde při nastavení pinu Config na hodnotu LOW. Tím se odešlou konfigurační data do modulu na pin TX. Další možností je využití daného softwaru.

Tabulka 14 – Konfigurace modulu [7]

Byte	Název	Popis	Výchozí nastavení
0	Cílová adresa	MSB	7E hex
1			7E hex
2			7E hex
3		LSB	7E hex
4	Adresa RF650	MSB	7E hex
5			7E hex
6			7E hex
7		LSB	7E hex
8	Kanál RF	100kHz krokování od 422,4MHz	6B (433,1MHz)
9	Výkon TX	0 = -10dBm	0 (-10dBm)
		1 = -2dBm	
		2 = +6dBm	
		3 = +10dBm	
10	Velikost datových paketů TX	1 – 31 bytů	1E (30 bytů)
11	Velikost datových paketů RX	1 – 31 bytů	1E (30 bytů)

Kanál RF pro kmitočet 433MHz se spočítá jako:

Hodnota nastavení (desetinná) = (požadovaný RF kmitočet – 422,4MHz)*10

Výslednou hodnotu je nutné převést do hexadecimálního formátu.

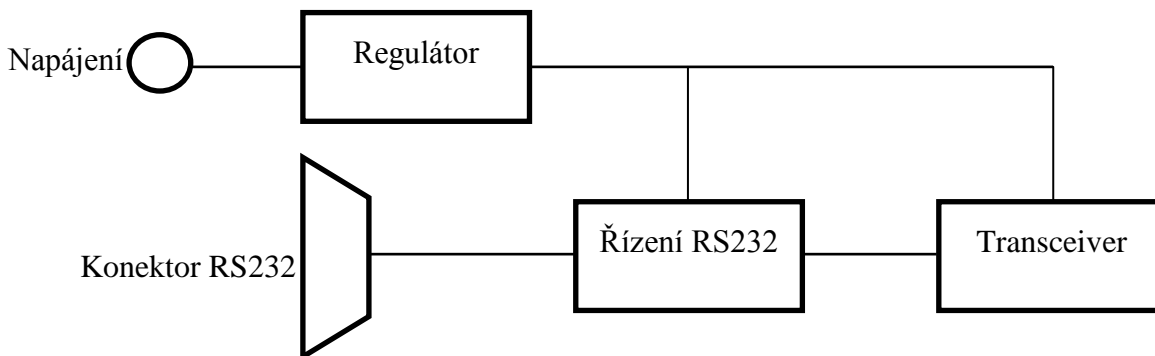
Pin Config musí být pevně nastaven na hodnotu LOW pro minimálně první byte do změny konfiguračního režimu. Pokud na konci konfigurace je konfigurační pin stále na LOW, modul pošle zpět aktuální nastavení k Hostu. Pro načtení aktuální konfigurace bez jakékoliv změny v nastavení, Host odešle jeden byte do modulu a poté čeká na odpověď.

Není nutné posílat všechny konfigurační byty do modulu, ale všechna poslaná data musí být platná. Například pro změnu cílové adresy Hosta stačí poslat jen 4 byty. Konfigurační data vyloučená z konce datového proudu zůstanou nezměněna. Modul přijímá krátké konfigurace s prodlevou 10ms po posledním poslaném bytu z modulu, nebo když pin RTS bude nastaven na hodnotu HIGH. To umožní Hostu snadno měnit cílovou adresu datových paketů. Pak jeden modul bude zasílat jednotlivá data na několik různých modulů příjemce.

Cílová adresa 00000000 resetuje RF650 do výchozího nastavení. Obdržené datové pakety s vloženou cílovou adresou, která odpovídá adrese RF650, budou přijaty, zpracovány a předány Hostu. Ostatní datové pakety budou ignorovány.

3.4 RF650-EVAL

RF650-EVAL je testovací modul, který přijímá transceivery RF650-433 nebo RF650-868. Obsahuje přímé rozhraní RS232 k počítači, LED indikaci přenosu. Napájecí napětí je 5 – 12V.

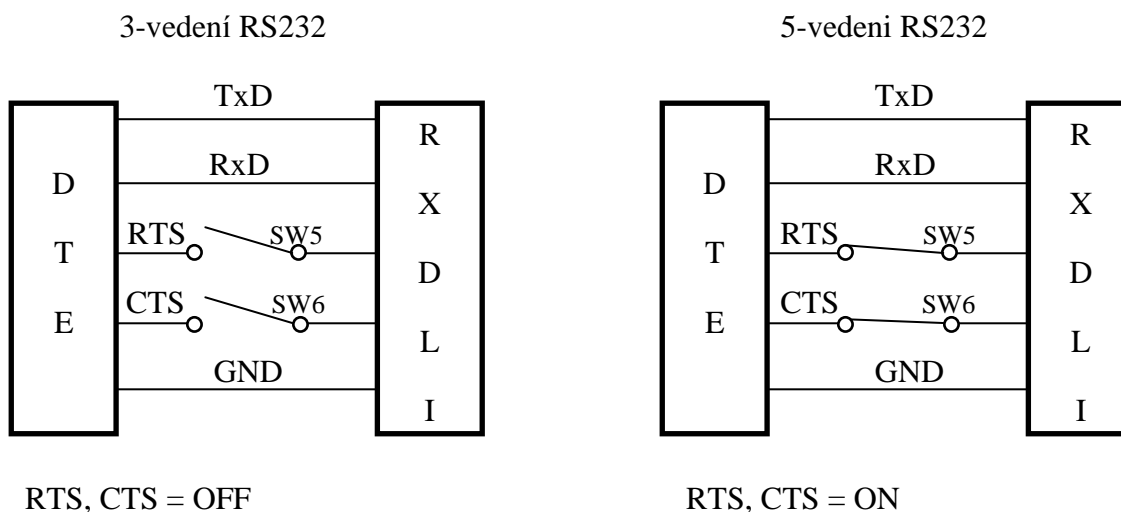


Obrázek 8 – Blokové schéma

3.4.1 Konfigurace

Tabulka 15 – Konfigurace DIP switch [7]

DIP přepínače	Název	Typ	Popis
1	PD (vypnutí)	IN	OFF: vypnuto; ON: provozní režim
2,3	Datová rychlost	IN	Výběr datové rychlosti HOST (viz následující tabulka)
4	Konfigurace	IN	OFF: režim konfigurace; ON: provozní režim
5	RTS	IN	OFF, OFF: RTS, CTS zakázáno (RS232 bez handshake) ON, ON: RTS,CTS povoleno (RS232 s handshake)
6	CTS	OUT	



Obrázek 9 – DIP switch konfigurace

Tabulka 16 – Modulační rychlosti [7]

DR1 (SW2)	DR2 (SW3)	Modulační rychlost [BAUD]
OFF	OFF	4 800
ON	OFF	9 600
OFF	ON	19 200
ON	ON	38 400

3.4.2 Elektrické vlastnosti

Tabulka 17 – Elektrické vlastnosti RF650 EVAL [7]

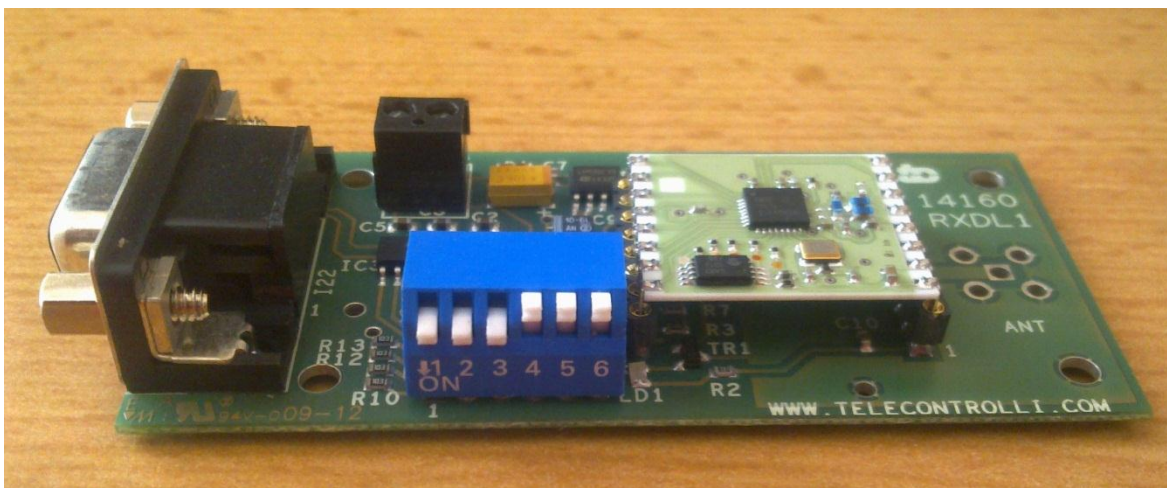
	Min	Typické	Max	Jednotky	Poznámky
DC ÚROVNĚ					
<i>Napájecí napětí</i>	5		12	VDC	1
<i>Napájecí proud (vysílací režim @+10dBm)</i>		31		mA	
<i>Napájecí proud (přijímací režim)</i>		23		mA	
RF					
<i>Pracovní kmitočet modulu RF650-EVAL</i>	430 (860)		440 (880)	MHz	2
<i>Počet kanálů</i>	100				
<i>Modulace</i>	GFSK				
<i>Dosah</i>		250		m	
<i>Citlivost</i>		-100		dBm	
<i>Vysílací RF výkon</i>		+10		dBm	
<i>Frekvenční odchylka</i>		±50		kHz	
<i>Provozní teplota</i>	-20		+70	°C	
DYNAMICKÉ ČASOVÁNÍ:					
<i>Stabilní příjem dat po zapnutí</i>		30		ms	
<i>Zapnutí do plného provozu</i>		30		ms	
<i>Pohotovostní režim → RX</i>		1		ms	
<i>Pohotovostní režim → TX</i>		1		ms	

3.5 Nastavení pro přenos

Po stažení konfiguračního programu ze stránek výrobce jsem na modulu RF650 – EVAL nastavil DIP přepínače podle tabulky 15 a 16 následovně:

1. Přepínač - ON
2. Přepínač - ON
3. Přepínač - ON
4. Přepínač - OFF
5. Přepínač - OFF
6. Přepínač - OFF

Těmito nastaveními je 1. přepínačem uveden modul do provozního stavu. Druhým a třetím switchem byla nastavena modulační rychlost na 38400Bd. Čtvrtým přepínačem jsem modul uvedl do režimu konfigurace. Pátým a šestým přepínačem je nyní zakázáno RTS a CTS.

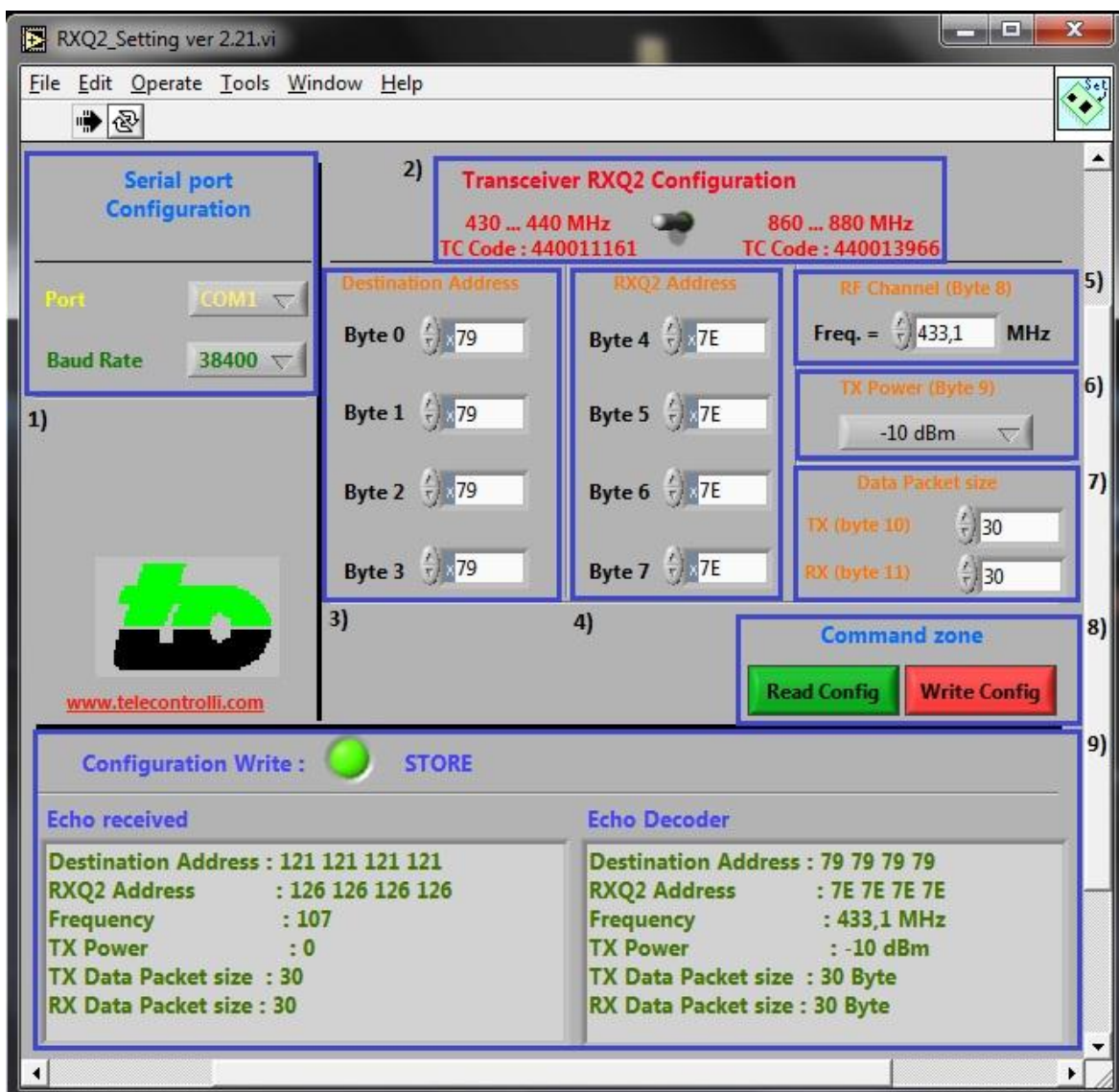


Obrázek 10 – Nastavení přepínače

Nyní byl testovací board RF650 – EVAL připojen k napájecímu napětí +5V a k počítači přes sériového rozhraní RS232. Pomocí programu RF650_Config executable.exe nastavíme konfiguraci:

- 1) Nastavení používaného sériového portu (COM 1, COM2) a modulační rychlosti (2400, 4800, 9600, 19200, 32400 Bd).
- 2) Používaný kmitočet modulu: 430 – 440MHz nebo 860 - 880MHz.
- 3) Zvolení cílové adresy (Byte 0 až Byte 3) v hexadecimálním kódu
- 4) Volba adresy modulu RF650 (Byte 4 až Byte 7) v hexadecimálním kódu.
- 5) Volba kmitočtu kanálu
- 6) Volba výkonu TX: -10dBm, +2dBm, +6dBm , +10dBm

- 7) Velikost paketu pro vysílání a příjem (1-31)
- 8) Čtení a zápis
- 9) Přehled nastavení



Obrázek 11 – Softwarová konfigurace

Po konfiguraci byl přepínač číslo 4 přepnut na ON, po kterém se uvedl modul do testovacího režimu. Pomocí programu Hyperterminal uskutečníme komunikaci. Program již sice není součástí operačního systému Windows 7, ale lze ho snadno získat z internetu, nebo ze staršího systému Windows XP překopírováním dvou souborů:

C:\WINDOWS\system32\hypertrm.dll

C:\Program Files\Windows NT\hypertrm.exe

Po spuštění aplikace Hyperterminal se nejprve zvolí název a ikona. Poté se nastaví port, přes který je transceiver připojen k PC. Následuje volba přenosové rychlosti, počtu bitů, parity, stop bitu a nakonec řízení toku.

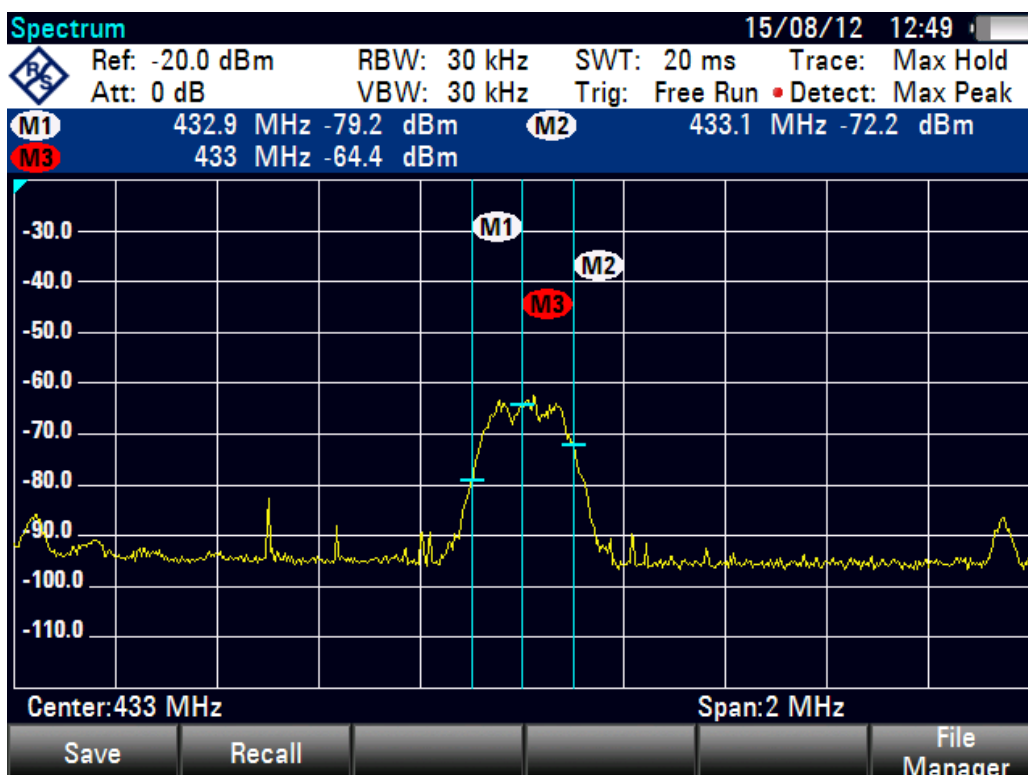
3.6 Přenos dat

3.6.1 Šířka pásma

Při testování přenosu na krátkou vzdálenost s přenosovou rychlostí 19 200 bit/s a kmitočtu 433MHz, byla posílána data o velikosti desítek kB. Při tomto přenosu byl využit spektrální analyzátor FSH8, kterým byla zjištěna šířka pásma a tvar spektra, viz obrázky níže.

Spektrální analyzátor FSH8 model .28 od firmy Rohde & Schwarz s frekvenčním rozsahem 100 kHz – 8 GHz. Maximální možný vstupní výkon činí +30dBm. Tento analyzátor má dále vestavěný AM/FM demodulátor a velké množství dalších funkcí. Pro ukládání dat slouží vnitřní paměť, nebo lze vložit SD kartu nebo připojit flash disk.

Na obrázku č. 12 je zaznamenané pásmo o šířce 2 MHz, ve kterém je markrem č. 3 označen pilotní kmitočet (433 MHz). Další dvě značky jsou vzdáleny o 100 kHz na obě strany od nosného kmitočtu.



Obrázek 12 – Šířka pásma 2MHz



Obrázek 13 – Šířka pásma 10MHz

Obrázek č. 13 ukazuje celou šířku pásma, ve které je možné transceiver používat. V pásmu je zřetelné rušení (vysílání) na některých kmitočtech (zvýrazněno značkami 2 až 4), výkonově je rušení od jiných spojů přibližně 20 dB pod výkonem realizovaného přenosu.

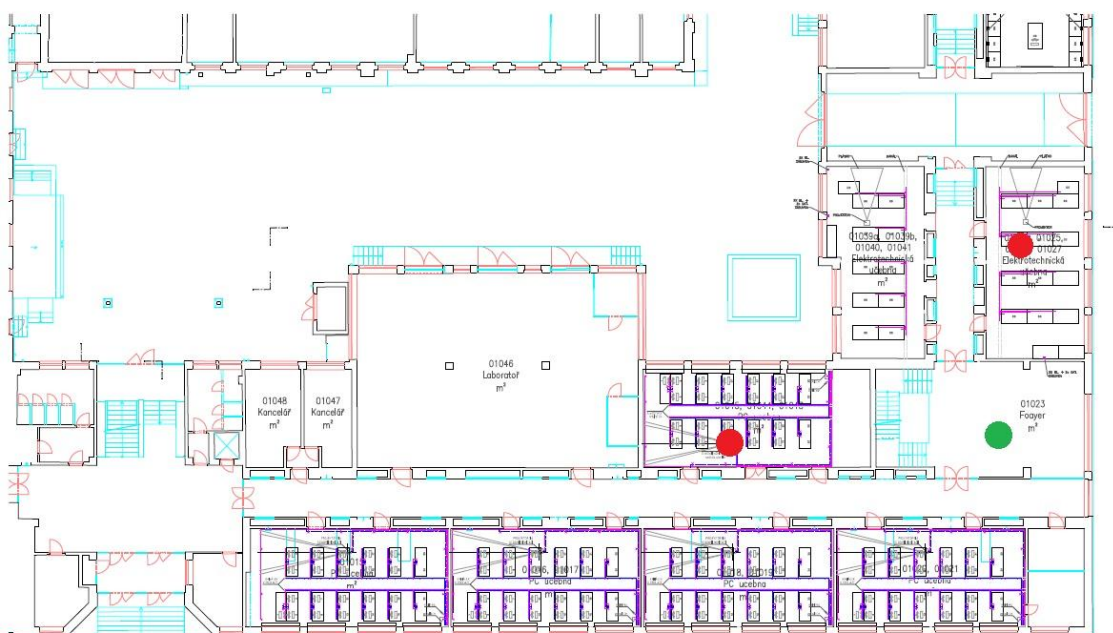


Obrázek 14 – Šířka pásma 500kHz

Na obrázku č. 14 je detail spektra signálu, značky jsou na stejných kmitočtech jako u obrázku č. 12. Ve spektru jsou zaznamenány postranní laloky vzniklé přepínáním kmitočtů modulace GFSK.

3.6.2 Testování přenosu

Bezdrátový spoj byl sestaven v prvním nadzemním patře Fakulty elektrotechniky a informatiky Univerzity Pardubice. Přenos byl nejdříve testován v rámci laboratoře EL101 na vzdálenost několika metrů při nezastíněné spojnici přenosu - LOS. Poté byl jeden z modulů přesunut do místnosti PC105 ve stejném patře, viz obrázek 16. Testování dále probíhalo v respiriu ve druhém, třetím a čtvrtém patře (zeleně označeno v obrázku 16, poloha přijímače v jednotlivých patrech se neměnila). Takto byl testován přenos signálu v zastíněné spojnici mezi vysílačem a přijímačem – NLOS. Signál byl tímto způsobem ovlivněn několika železobetonovými zdmi a zděnými příčkami.



Obrázek 15 – Plán 1. patra, umístění rádiových pojítek

Přeposílaná data při testování přenosu měla velikost 98kB a 850kB.

Přenosovou rychlost spočítáme jako:

$$V_p = \frac{8 \cdot \text{velikost přeneseného obrázku v bytech}}{\text{čas}} \quad [\text{bit/s; byte, s}] \quad (8)$$

Tabulka 18 – Místnost EL101

	Velikost obrázku / přeneseného obrázku [kB]	Čas přenosu [s]	Přenosová rychlost [kbit/s]
1. přenos	98/98	54	14,52
2. přenos	98/98	54	14,52
3. přenos	98/98	54	14,52
4. přenos	850/850	469	14,50
5. přenos	850/850	469	14,50
6. přenos	850/850	469	14,50

Tabulka 19 – Místnost PC105

	Velikost obrázku / přeneseného obrázku [kB]	Čas přenosu [s]	Přenosová rychlost [kbit/s]
1. přenos	98/98	54	14,52
2. přenos	98/98	54	14,52
3. přenos	98/98	54	14,52
4. přenos	850/850	469	14,50
5. přenos	850/342	206	13,28
6. přenos	850/850	469	14,50

Tabulka 20 – Respirium 2. patro

	Velikost obrázku / přeneseného obrázku [kB]	Čas přenosu [s]	Přenosová rychlost [kbit/s]
1. přenos	98/69	33	16,72
2. přenos	98/98	54	14,52
3. přenos	98/98	54	14,52
4. přenos	850/850	469	14,50
5. přenos	850/850	469	14,50
6. přenos	850/850	469	14,50

Tabulka 21 – Respirium 3. patro

	Velikost obrázku / přeneseného obrázku [kB]	Čas přenosu [s]	Přenosová rychlost [kbit/s]
1. přenos	98/98	54	14,52
2. přenos	98/98	54	14,52
3. přenos	98/98	54	14,52
4. přenos	850/9	5	14,40
5. přenos	850/667	363	14,70
6. přenos	850/850	469	14,50

Navázané spojení bylo uskutečněno nejdříve v učebně EL101, kde přenos probíhal bez větších problémů (Tabulka 18). Naopak tomu bylo po přesunu jednoho modulu do učebny PC105. Zde z 6 pokusů nebyl uskutečněn jeden na 100%. Přeneslo se 342kB z 850kB za 206 sekundy. Ve druhém patře v respiriu (zelené kolečko na obrázku 16) se data o velikosti 850kB přenesla všechna. Problém byl hned při prvním přenosu, kde se z 99kB přeneslo 69kB za 33 sekundy. Dále byl modul umístěn v respiriu ve třetím patře, kde došlo opět k navázání spojení. Při posílání obrázku o velikosti 850kB nastaly v prvních dvou případech chyby a soubor se zcela nepřenesl, jak je uvedeno v tabulce 21. Přenos byl také zkoušen i v patře čtvrtém. Zde již k navázání spojení nedošlo vůbec, tudíž žádný přenos dat nebyl uskutečněn. Přenosová rychlost se ve většině případů, kdy byla data zcela přenesena, pohybuje kolem 14,5kbit/s.

Závěr

Cílem této bakalářské práce byl přenos dat v bezlicenčních pásmech při spojení LOS a NLOS. V úvodu teoretické části je obecně popsán princip rádiového přenosového systému, včetně modulací, na nichž rádiová pojítka fungují.

V praktické části byl testován transceiver typu RF650-433 od společnosti RF Solutions určený pro kmitočty 433 MHz. Pro jednodušší podmínky testování byly využity všesměrové antény. Podle dokumentace a uváděných parametrů tento modul pracuje s přenosovou rychlostí až 100kbit/s. Po dodání transceiverů a jejich odzkoušení jsem však zjistil, že se jedná o maximální chipovou prokládací rychlost a v nastavení modulu bylo možné zvolit maximální rychlost 38400bit/s. Na této nastavené rychlosti s využitím programu Hyperterminal, který je součástí operačního systému Windows XP, probíhala komunikace pouze textově. Data v podobě například obrázku nešla z neznámých důvodů odeslat. Změnou rychlosti na hodnotu 19200bit/s komunikace probíhala jak textově, tak bylo možné posílat například obrázky i soubory ve formátu mp3. Vzhledem k nastavené rychlosti a velikosti souboru tomu také odpovídala doba přenosu. Při přenosu na vzdálenost asi 3 metrů při nezastíněné spojnici mezi anténami – spojení LOS, byl obrázek o velikosti 98kB přenesen za dobu přibližně 52s. Soubor mp3 o velikosti 4,7MB by se přenášel více než 45 minut. Při dalších testech rádiového spojení došlo ke zvětšení vzdálenosti mezi pojítky při spojení typu NLOS, kdy spojnice přenosu nemusí být přímá a nachází se v ní překážky, v tomto případě to byly stěny a stropy učeben. V učebně EL101 byl umístěn jeden transceiver, se kterým se nehýbalo. Druhý modul byl přenosný a byl připojen v učebně PC105 a v respiriu ve vyšších patrech. U tohoto typu spojení nedošlo při přenosu dat ke větším změnám oproti spojení LOS na krátkou vzdálenost. Doba přenosu 98kB obrázku z místnosti PC105 byla stejná a to 52s. Zkoušen byl také větší soubor o velikosti 850kB, který byl přenesen za 7 minut a 42 sekundy při stejné rychlosti 19200bit/s. Spojení mezi rádiovými pojítky v respiriích bylo úspěšné v druhém a třetím patře. V druhém podlaží byl přenos zcela úspěšný. Všechna data byla přenesena. Ve třetím patře se obrázky o velikosti 98kB přenesli bez větších problémů za 54s. Větší 850kB soubor se přenesl celý pouze jednou za 7min a 45s. V ostatních neúspěšných přenosech nastala chyba v paketu. Celková přenosová rychlost přeneseného obrázku se pohybuje kolem 14,5kbit/s. U částečně poslaných například 342kB z 850kB za 206s je přenosová rychlost 13,28kbit/s. Ve čtvrtém patře k navázání spojení mezi rádiovými pojítky již nedošlo.

Z naměřených přenosových rychlostí vyplývá, že přenos se buď uskutečňuje plnou rychlostí, nebo ho není možné vůbec realizovat z důvodu nízké úrovně signálu.

Tento typ transceiveru je spíše určen pro přenos dat o velikosti několika stovek kB. Pro jeho malé rozměry by se dal využít v zařízeních pro ochranu budov, automobilů, monitorování objektů a poté například odesílání snímků s malým rozlišením do počítače z detektorů. Přenosová rychlost 38400bit/s by samozřejmě čas přenosu dat zkrátila. Při praktické realizaci spojení pro specifické účely by bylo vhodnější využít větší podíl

z maximální používané chipové rychlosti 100 kbit/s pro užitečná data, pokud to podmínky spojení dovolí.

Literatura

- [1] *Aurel the wireless experience*. [Online] [Citace: 18. 7 2012.] Dostupné z WWW: <<http://www.aurelwireless.com>>.
- [2] **BRATKOVÁ, Eva. 2008.** Metody citování literatury a strukturování bibliografických záznamů podle mezinárodních norem ISO 690 a ISO 690-2 : metodický materiál pro autory vysokoškolských kvalifikačních prací. [Online] 22. 12 2008. [Citace: 15. 3 2010.] Dostupné z WWW: <<http://www.evskp.cz/SD/4c.pdf>>.
- [3] **PECHAČ, Pavel a ZVÁNOVEC, Pavel. 2007.** *Základy šíření vln: pro plánování pozemních rádiových spojů*. Praha : BEN - technická literatura, 2007. str. 200. Sv. 1.vydání. ISBN 978-80-7300-223-7.
- [4] Radiospektrum. *Informace o regulaci využívání rádiového SPEKtra v ČR*. [Online] [Citace: 6. 7 2012.] Pásmo ISM – poznámka 5.250. Dostupné z WWW: <http://www.radiospektrum.cz/cze/ppkp503_2c.html#RR5_280>.
- [5] Radiospektrum. *Informace o regulaci využívání rádiového SPEKtra v ČR*. [Online] [Citace: 6. 7 2012.] Pásmo ISM - poznámka 5.138, 5.150. Dostupné z WWW: <http://www.radiospektrum.cz/cze/ppkp503_1c.html#ppkp5_150>.
- [6] Radiospektrum. *Informace o regulaci využívání rádiového SPEKtra v ČR*. [Online] [Citace: 6. 7 2012.] Pásmo ISM. Dostupné z WWW: <<http://www.radiospektrum.cz/cze/a0010c.html>>.
- [7] RF Solutions. [Online] [Citace: 16. 7 2012.] Dostupné z WWW: <<http://www.rfsolutions.co.uk>>.
- [8] *Rohde and Schwarz*. [Online] [Citace: 16. 8 2012.] FSH8 (Obrázek 12) Dostupné z WWW: <http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/spectrum_analysis/FSH4_8-Front_View-30-4715.html>.
- [9] **TAUFER, Ivan, KOTYK, Josef a JAVŮREK, Milan. 2009.** *Jak psát a obhajovat závěrečnou práci bakalářskou, diplomovou, rigorózní, disertační, habilitační*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2009. ISBN 978-80-7395-157-3.
- [10] Wikipedia. [Online] 9. 11 2007. [Citace: 19. 6 2012.] První Fresnelova zóna (Obrázek 3). Dostupné z WWW: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d6/FresnelSVG.svg/500px-FresnelSVG.svg.png>>.
- [11] Wikipedia. [Online] [Citace: 30. 8 2012.] Boltzmannova konstanta. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Boltzmannova_konstanta>.

[12] **ŽALUD, Václav. 2006.** *Moderní radiotechnika*. Praha : BEN - technická literatura, 2006. str. 768. Sv. 1.vydání. ISBN 80-7300-132-2.