

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra technologií a měření

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Software pro řízení bezdrátové komunikace s využitím
modulu XTR-434L

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr HOSNEDL**
Osobní číslo: **E08B0327P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Software pro řízení bezdrátové komunikace s využitím modulu XTR-434**
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

Cílem práce je vytvořit řídicí software pro obousměrnou komunikaci pomocí bezdrátových modulů XTR-434.

1. Prostudovat vlastnosti komunikačního modulu XTR-434.
2. Seznámit se s předloženým hardwarem.
3. Vytvořit program pro řízení obousměrné komunikace.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

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

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Chramosta

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **18. října 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Software pro řízení bezdrátové komunikace s využitím modulu XTR-434L** vypracoval sám pod odborným dohledem vedoucího bakalářské práce a za použití odborné literatury a dostupných pramenů, které jsou v seznamu, jež je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne.....

Podpis.....

Petr Hosnedl

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Michalu Chramostovi za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi při jejím zpracovávání věnoval. Zároveň děkuji i všem ostatním pedagogům a pracovníkům Západočeské univerzity v Plzni za mnoho odborných znalostí, které jsem od nich během svého studia získal.

Samozřejmě děkuji i mým rodičům a známým za podporu a pomoc během mého studia a za trpělivost, kterou se mnou měli.

Anotace:**MODUL XTR-434L**

Bakalářská práce se zabývá problémem s citlivostí pro rozlišení příchozích dat u modulu XTR-434L, který převádí elektrický digitální signál na signál šířící se prostřednictvím elektromagnetických vln a naopak.

V úvodních kapitolách se práce věnuje vysvětlením pojmů komunikace a zdůvodněním jejího stále častějšího používání. Další kapitoly pojednávají o různých možnostech komunikace.

Stěžejní část práce se zabývá popisem modulu XTR-434L a programem pro řízení obousměrné komunikace.

Klíčová slova: komunikace, elektrický obvod, modul, anténa, program

Abstract:

MODUL XTR-434L

This bachelor's thesis deals with the problem of sensitivity for distinguishing incoming data of the module XTR – 434L. This modul transmits the digital signal to the signal spread by electromagnetic waves and vice-versa.

In the opening chapters the thesis defines the terms connected with communication and explains its still more frequent use. The next chapters deal with various possibilities of the communication.

The main part of the thesis deals with the description of the module XTR-434L and with the management program for two-way communication.

Keywords: communication, electical circuit, modul, antenna, program

Obsah

Úvod	9
Seznam použitých symbolů a zkratk	10
1 Formulace problému - komunikace	11
1.1 Komunikaci lze dělit podle několika kritérií.	11
1.1.1 Dělení komunikace podle topologie komunikační sítě	11
1.1.2 Dělení komunikace podle druhu signálu	12
1.1.3 Dělení komunikace podle způsobu přenosu informací.....	13
2 Formulace problému - modul XTR-434L	14
2.1 Popis modulu XTR-434L	14
2.2 Popis vybraných bloků modulu XTR-434L	17
2.2.1 Frekvenční propusti.....	19
2.2.2 Frekvenční modulace	24
3 Schéma zapojení komunikačního modulu	29
3.1 Popis mikroprocesoru	29
3.1.1 Procesory typu CISC a RISC.....	32
3.1.2 Rozdíly mezi pamětí RAM, ROM a Flash	33
3.1.3 WatchDog.....	34
4 Řešení problému	35
4.1 Popis vývojového diagramu programu	38
4.2 Vývojový diagram programu	39
Závěr.....	40
Seznam použité literatury	41
Seznam obrázků a tabulek	43
Seznam příloh.....	44
Schéma obvodu pro připojení modulu	44
Evidenční list	45

Úvod

V našich životech nás obklopuje mnoho elektronických zařízení a přístrojů. Nejen počet, ale i složitost těchto zařízení se neustále zvyšuje. Aby i při těchto skutečnostech byla zařízení použitelná a usnadňovala nám životy, musí být jejich ovládání co nejjednodušší a uživatelé musí mít o provozních stavech těchto zařízení určitý přehled.

Mnoho funkčních celků se skládá z více dílčích zařízení, které umožňují ovládání či sledování z více míst. Především důsledkem těchto okolností musí existovat mezi jednotlivými částmi bezchybná a kvalitní komunikace. Tyto komunikační kanály lze realizovat mnoha způsoby. Klíčovým faktorem, který určuje druh provedení těchto kanálů je fakt, zdali se přijímací část a vysílací část vůči sobě pohybují. U jednotlivých zařízení, či u dílčích zařízení, jejíž vzájemná poloha se nemění a komponenty nejsou od sebe příliš vzdáleny, je komunikace obvykle realizována prostřednictvím skupin elektrických vodičů.

Pokud se ale jednotlivá zařízení navzájem pohybují, je nutné použít tzv. bezdrátovou komunikaci. Tato komunikace se používá i v případech, kdy se sice jednotlivá zařízení nepohybují, ale realizace „drátové“ komunikace je z nějakého důvodu problematická či nemožná nebo dražší než drátová. Bezdrátový způsob komunikace je samozřejmě složitější než komunikace prostřednictvím vodičů, neboť elektrický signál je zpravidla převeden na elektromagnetický signál, který se šíří prostorem. Na druhé straně komunikačního řetězce musí být tento signál z prostoru zachycen přijímačem a převeden do zařízení. Vzhledem k tomu, že je v prostoru mnoho vysílačů a přijímačů, musí být přenášený signál dobře rozlišitelný, aby byla možná detekce požadovaných dat. Prvotní rozdělení se obvykle provádí prostřednictvím několika hodnot frekvence nosné vlny. Oscilátor vysílače vysílá data na konkrétní nastavené frekvenci a vstupní filtr přijímače musí selektovat ze širokého spektra frekvencí právě tuto vysílačem nastavenou frekvenci. V praxi však může nastat situace, kdy přijímač přijme a propustí redundantní signály a tím dojde k rušení přenášeného signálu.

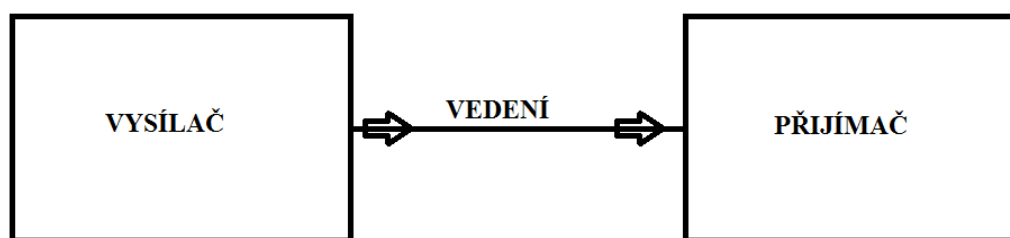
Obtížné ovšem je správně rozeznat, který signál je opravdu vyslaný vysílačem, a který je způsobený rušením. Předmětem této práce je navrhnout řešení, které bude pro konkrétní typ přijímače řešit problém rozeznání skutečného signálu od rušení.

Seznam použitých symbolů a zkratek

Název zkratky	Popis zkratky	
	česky	anglicky
°C	stupně celsia	degrees Celsius
μs	mikrosekundy	microsecond
A	ampér	amps
AM	amplitudová modulace	amplitude modulation
bps	bit za sekundu	bit per second
cca	přibližně	roughly
dB/dec	decibel na dekádu	decibel per decade
dBm	decibel na 1 miliwatt	decibel per one miliwatt
FM	frekvenční modulace	frequency modulation
kbyty	kilobyty	kilobytes
kHz	kilohertz	kilohertz
kΩ	kiloohm	kiloohm
log	logaritmus	logarithm
mA	miliampér	milliamps
Max.	maximální	maximum
MHz	megahertz	megahertz
Min.	minimální	minimum
mm	milimetr	millimeter
ms	milisekunda	millisecond
nA	nanoampér	nanoamps
např.	například	for example
Obr.	obrázek	picture
pF	pikofarad	picofarad
popř.	popřípadě	more such
resp.	respektive	or
Tab.	tabulka	table
tzv.	takzvaně	so-called
V	volt	volt
Ω	ohm	ohm

1 Formulace problému - komunikace

Jak už jsem naznačil v úvodu, většina zařízení používá nějakou komunikaci. V obecné rovině znamená pojem komunikace přenos informace z jednoho bodu do bodu jiného či do více dalších bodů. Základní komunikační sestava pro přenos informací se tedy skládá z **vysílače**, **vedení** a **přijímače**, viz *Obr. 1*.

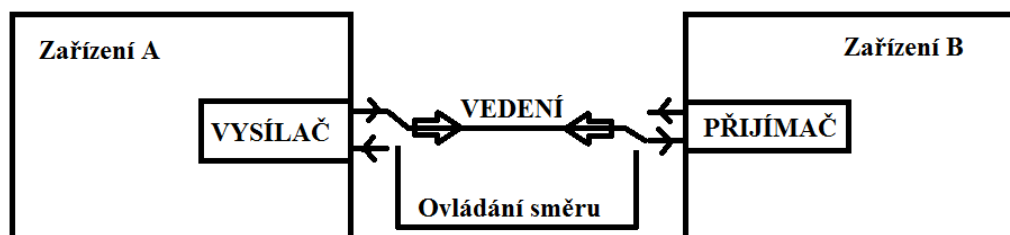


Obr. 1: Základní komunikační sestava [7]

1.1 Komunikaci lze dělit podle několika kritérií.

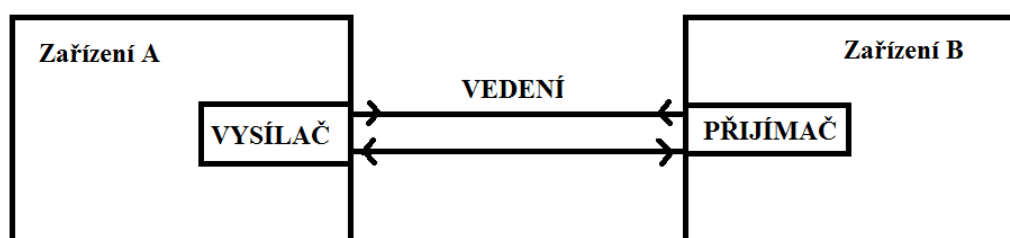
1.1.1 Dělení komunikace podle topologie komunikační sítě

Jedno z dělení je podle topologie komunikační sítě. Přenos dat v síti může probíhat mezi dvěma body nebo mezi více body. V případě více bodů mohou jednu informaci přijímat všechny přijímače, pouze jeden určený přijímač nebo určená skupina přijímačů. Dále lze dělit různé komunikační možnosti podle možného směru toku dat a podle možnosti změny směrů tohoto toku. První možnost je, že data se přenáší pouze jedním směrem a tento směr se nedá měnit. Tato možnost se nazývá jednosměrná simplexní komunikace a odpovídá jí znázornění na *Obr. 1*. Další možností je obousměrný přenos informací. Tento komunikační přenos může být dále řešen několika způsoby, které budou znázorněny na následujících obrázcích. Na *Obr. 2* je znázorněný obousměrný simplexní provoz, který se vyznačuje pouze jedním komunikačním vedením. Toto vedení je přepínáno pomocí „ovládání směru“ a na základě konkrétního přepnutí se určuje daný směr komunikace v určitém čase [8], [9].



Obr. 2: Obousměrný simplexní provoz [7]

Na *Obr. 3* je znázorněna poloduplexní a duplexní komunikace, která je specifická tím, že každý směr komunikace má samostatné vedení. Při duplexní komunikaci může navíc na obou směrech probíhat komunikace ve stejný čas. Právě v tom se rozlišuje duplexní a poloduplexní přenos informací. Při poloduplexní komunikaci sice probíhá každý směr po své cestě, ale není možné používat obě cesty současně.



Obr. 3: Duplexní a poloduplexní provoz [7]

1.1.2 Dělení komunikace podle druhu signálu

Druhá možnost dělení komunikace je podle typu přenášeného signálu, buď se data přenáší prostřednictvím spojitého neboli analogového signálu, nebo pomocí diskrétního tedy digitálního signálu. Analogový signál může mít teoreticky nekonečné množství stavů a právě proto se nazývá signálem spojitým. Např. hodnota napětí přímo na svorkách z tepelně proměnného odporu při konstantním protékajícím proudu je typickým analogovým signálem. Oproti tomu digitální signál má omezený počet stavů a tyto stavy se nazývají logické úrovně. Těchto přenášených hodnot může být několik, obvykle jsou ale pouze dvě a takový dvoustavový signál se nazývá binární signál. V případě, že vznikne vlivem rušení na komunikačním vedení ke změně hodnoty napětí,

při analogovém přenosu to změní hodnotu na konci komunikačního vedení o určitou odchylku a následkem toho klesne kvalita komunikace. Stane-li se obdobný jev při digitálním přenosu, může to mít dva různé dopady. V případě, že je změna v takovém rozsahu, že hodnota stále zůstává ve své logické úrovni, nemá toto rušení žádný vliv na kvalitu komunikace. V opačném případě, kdy má odchylka takovou hodnotu, že se signál dostane do opačné logické úrovně, má toto rušení fatální vliv na komunikaci a hodnota na konci komunikačního vedení absolutně neodpovídá odeslané hodnotě. Z toho plyne, že obě tyto možnosti (analogová komunikace i digitální) mají tedy své výhody i nevýhody a že záleží na konkrétním případě, která z možností je vhodnější [8], [9].

1.1.3 Dělení komunikace podle způsobu přenosu informací

Další možné dělení komunikace je na drátovou či bezdrátovou. Rozdíl mezi těmito možnostmi je, že při drátové komunikaci je komunikační cesta realizována elektrickým vodičem či optickým kabelem a při bezdrátové komunikaci je vedení realizováno prostorem, nejčastěji pomocí elektromagnetických vln. Obě tyto možnosti mají své výhody, a jak tomu v praxi bývá, mají také své nevýhody. Výhodou komunikace prostřednictvím vodiče je jednodušší obvodové řešení, menší náročnost na počet potřebných součástek a menší možnost rušení či odposlechu. Oproti tomu výhody bezdrátové komunikace jsou možnost většího pohybu vysílače oproti přijímači, snazší připojení dalšího vysílače či přijímače do systému. Nevýhodami bezdrátové komunikace jsou složitější obvodové řešení, snazší možnost rušení a odposlechu, větší náročnost na počet součástek a složitost zařízení. Vzhledem k této skutečnosti jsou vyráběny moduly či integrované obvody, které nahrazují složité obvody s použitím jednotlivých elektronických součástek. Jedním ze zástupců těchto modulů je řada obvodů **XTR-434xxx**. Tato bakalářská práce se zabývá konkrétně modulem XTR-434L a obvodem, který realizuje potřebné propojení mezi tímto modulem a zbytkem zařízení [8], [9].

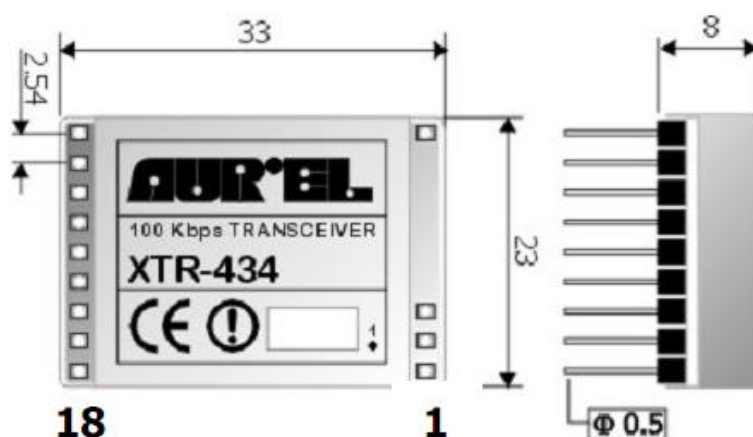
2 Formulace problému - modul XTR-434L

2.1 Popis modulu XTR-434L

Modul XTR-434L je elektrický obvod, který realizuje propojení používaného zařízení s anténou. Obvod, který slouží k propojení zařízení s modulem XTR-434L bude popsán v některé z dalších kapitol. Tato kapitola bude popisovat přímo samostatný modul

XTR-434L.

Modul, a to včetně jeho fyzických rozměrů je zobrazen na *Obr. 4*. Z tohoto obrázku je dále zřejmý počet vývodů modulu a rozměry s nimi související.

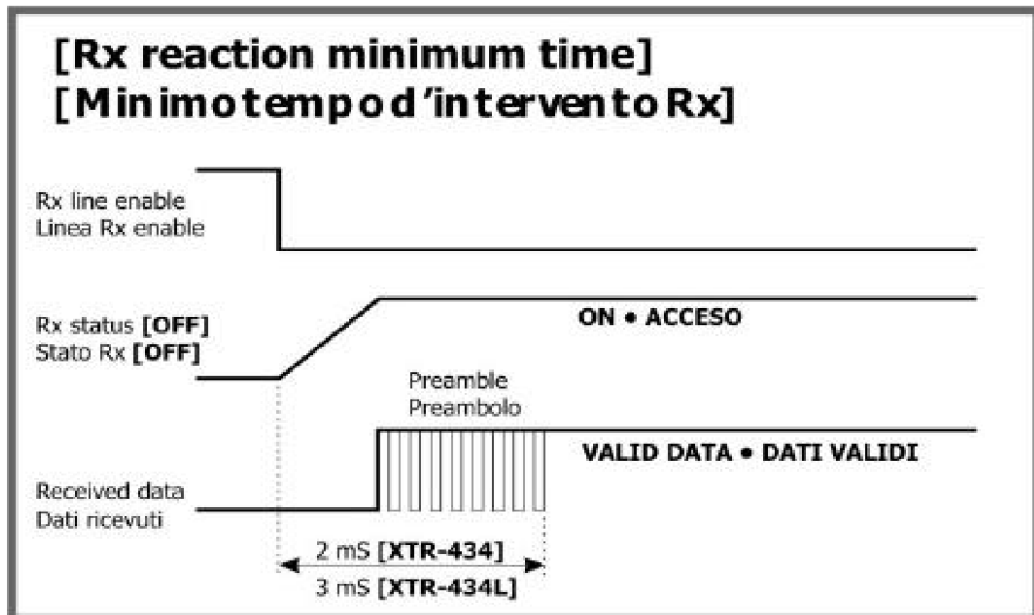


Obr. 4: Modul XTR-434L [1]

Vývody obvodu jsou označeny čísly 1 až 18. Vývody s čísly 1 a 3 jsou označeny RF GND, slouží k připojení zemního potenciálu. Vývod číslo 2 je vývod pro připojení antény pro bezdrátový přenos informací. Impedance antény včetně jejího vedení pro ideální vlastnosti přenosu musí být 50 Ω . K přenosu dat modul využívá princip frekvenční modulace. Bližší informace o principu frekvenční modulace jsem popsal v kapitole: 2.2.2 *Frekvenční modulace*. Frekvence nosné vlny, prostřednictvím které jsou informace přenášeny je u modulu XTR-434L 433,92 MHz. Vývody číslo 4, 5, 6, 7 a 8 jsou označeny NC, tyto vývody jsou na vnitřní straně modulu nezapojeny,

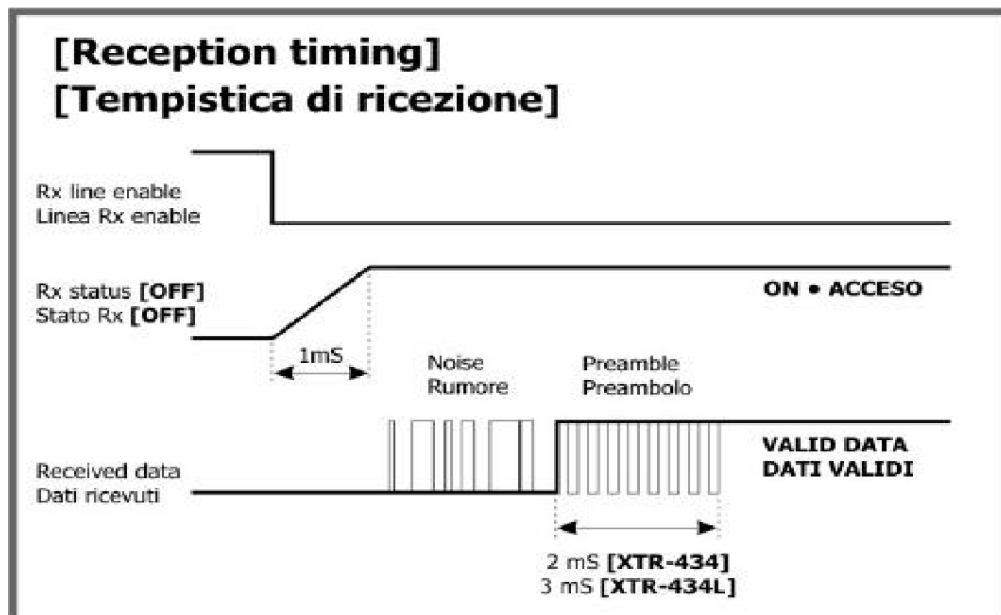
to znamená, že v tomto modulu nemají žádné využití. Vývody s čísly 9, 10 a 18 jsou označeny GND, tudíž slouží pro připojení zemního potenciálu. Všechny tyto vývody jsou uvnitř modulu propojeny a je na ně připojeno i vnitřní stínění modulu. Vývod číslo 11 je označen C. D. tedy CARRIER DETECT. Tento pin slouží k získání informace, zda přichází nějaký signál z okolí na anténu. Je-li aktivovaný příjem, je na tomto vývodu v klidovém stavu logická úroveň H. V případě, že anténa detekuje nosnou frekvenci, logická úroveň se na vývodu změní na logickou hodnotu L. Přichozí signál je považován za platný při úrovni -96dB na nosnou frekvenci. Vývod číslo 12 je označen Data OUT či RXD. Tento pin slouží jako sériový výstup digitálních dat. Výstupní data na tomto pinu odpovídají specifikaci standardní sériové linky RS 232. Povolená impedance zátěže na tomto výstupu je minimálně 100 k Ω , přičemž zátěž nesmí mít kapacitní charakter. Vývod číslo 13 je označen Analog OUT či AF. Jedná se tedy o výstup, který slouží k přenosu analogových dat, která modul filtruje a strádá z FM detektoru. Minimální impedance zátěže musí být vyšší než 2 k Ω a je-li zátěž kapacitní, musí být kapacita nižší než 100 pF. Vývod číslo 14 je označen MOD. IN či TXD. Tento pin funguje jako vstup dat na principu sériové linky. Logické hodnoty pro tento vstup odpovídají hodnotám TTL logiky. Hodnoty pro TTL logiku jsou 0 V pro logickou nulu (L) a 5 V pro logickou jednotku (H). Vstupní impedance tohoto vstupu je 10 k Ω . Vývod číslo 15 je označen Tx EN, tedy TX ENABLE. Vývod je aktivní při nízké úrovni a nastavuje obvod pro vysílání dat. Vývod číslo 16 je označen Rx EN, tedy RX ENABLE. Vývod je aktivní také při nízké úrovni a nastavuje obvod pro přijímání dat. Nastavení režimů přijímání a vysílání, které jsou závislé na kombinaci vývodů 15 a 16 jsou podrobně popsány v tabulce 4. Vývod číslo 17 je označen V_{cc}, jedná se tedy o vývod pro připojení kladného pólu vstupního napájecího napětí. Jmenovitá hodnota stejnosměrného napájecího napětí je 5 V a tato hodnota může mít toleranci $\pm 10\%$ [1].

Pro správný příjem dat je důležité dodržet správný časový sled ovládacího signálu pro čtení dat. Jako první musí být v aktivní hladině vstup R_x. Tento vstup je aktivní v úrovni L, tedy logické nule. Od okamžiku, kdy je na vstupu R_x platná aktivní úroveň, trvá modulu ještě 1 ms, než je plně nastaven do režimu příjmu. V tomto čase, kdy modul ještě není plně nastaven do režimu příjmu, dokáže již data přijímat, ale tato data ještě není schopný zpracovat. Tento případ je zobrazený na *Obr. 5*.



Obr. 5: Časové znázornění příjmu dat

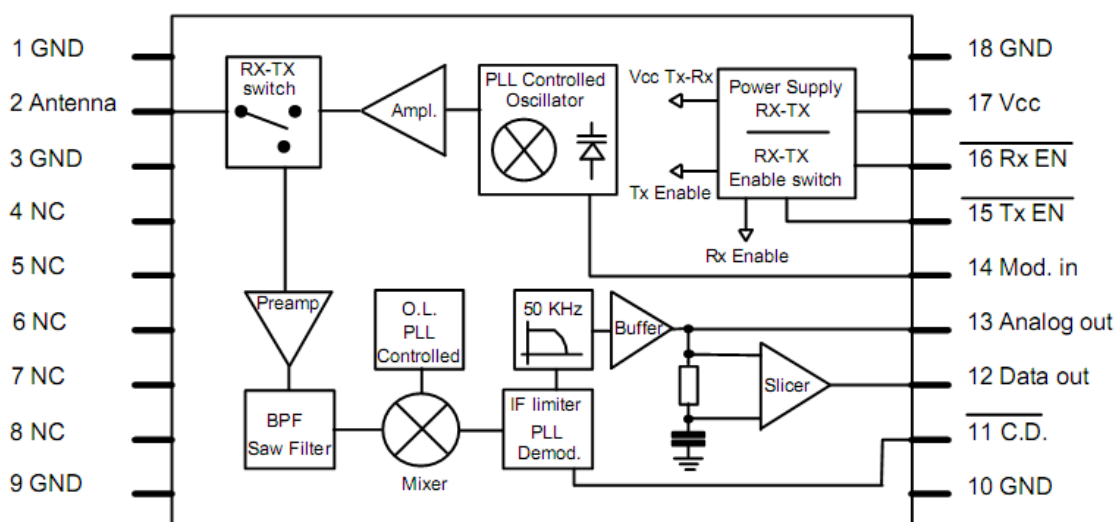
Zpracovávat data bezchybně dokáže modul až cca 2 ms po čase, kdy byl plně přepnut do režimu přijímání. Grafické znázornění tohoto časového průběhu je zobrazeno na *Obr. 6*.



Obr. 6: Časové znázornění příjmu dat

2.2 Popis vybraných bloků modulu XTR-434L

Modul XTR-434L se skládá z jednotlivých bloků. Blokové schéma modulu, na němž jsou zobrazeny jednotlivé bloky, jejich propojení a vývody obvodu je zobrazené na Obr. 7.



Obr. 7: Blokové schéma a popis vývodů modulu XTR-434L [1]

V tomto odstavci jsou funkce některých složitějších bloků popsány. Blok označený popisem RX-TX switch, slouží pro přepínání vysílání/příjem. Tento blok je ovládán kombinací logických hodnot na vstupech 15 a 16 a realizuje propojení toku dat mezi blokem pro odesílání dat do antény, nebo mezi blokem pro přijímání dat z antény. Blok PLL Controlled Oscillator je ovládán fázový závěs. Prostřednictvím tohoto fázového závěsu je nastavována hodnota frekvence nosné vlny, prostřednictvím které je následně poslán signál. Pod blokem PLL Controlled Oscillator se nachází filtr dolní propust. V kapitole 2.2.1 *Frekvenční propusti* podrobně popíši celkově problematiku filtrů. Blok Power Supply RX-TX Enable switch je napájecí blok a nastavuje přepínač RX-TX switch do požadovaného stavu [1].

V následujících tabulkách jsou popsána technická data modulů řady XTR-434L. V Tab. 1 jsou popsány hodnoty proudů a napětí při jednotlivých režimech (RX, TX - ON/OFF). V Tab. 2 jsou hodnoty modulu, které jsou při režimu přijímání dat. V Tab. 3 jsou hodnoty modulu, které jsou při režimu vysílání dat. Tab. 4 udává, v jakých logických stavech musí být výstupy 15 a 16 pro požadovaný režim modulu.

Tab. 1: Vstupní hodnoty napětí a proudů [1]

	Min. hodnota	Typická hodnota	Max. hodnota
Napájecí napětí	4,5V	5V	5,5V
Napájecí proud [TX ON]	24mA	28mA	32mA
Napájecí proud [RX ON]	10mA	11mA	12mA
Napájecí proud [TX/RX OFF]			100nA

Tab. 2: Režim přijímání dat [1]

	Min. hodnota	Typická hodnota	Max. hodnota
Přijímací frekvence		433,92MHz	
Citlivost RF [XTR-434L]		-100dBm	-102dBm
Citlivost RF [XTR-434L]		-103dBm	-105dBm
Propustné pásmo		150kHz	
Potlačení rušení		-80dB	
Rušivé signály v anténě		žádné	
Propustné pásmo dat [XTR-434L]	10kHz		50kHz
Propustné pásmo dat [XTR-434L]	2,5kHz		25kHz
Hodnoty výstupu v nízké úrovni		0,1V	
Hodnoty výstupu ve vysoké úrovni		3,5V	
Citlivost na signál	-96dBm	-98dBm	

Tab. 3: Režim vysílání dat [1]

	Min. hodnota	Typická hodnota	Max. hodnota
Vysílací frekvence		433,92MHz	
Propustné pásmo dat [XTR-434]	10kHz		50kHz
Propustné pásmo dat [XTR-434L]	2,5kHz		25kHz
Odchylka modulační vlny		±25kHz	
Výstupní výkon			10dBm
Impedance antény		50Ω	
RX přepínací čas		1ms	

TX přepínací čas		1ms	
Pracovní teplota	-20°C		+80°C
Rozměry	33 x 23 x 8 mm		

Tab. 4: Režimy obvodu a jejich nastavení [1]

Pin 15	Pin 16	Funkce
1	1	Modul vypnutý
1	0	Režim přijímače
0	1	Režim vysílače
0	0	Nepoužívaná kombinace

2.2.1 Frekvenční propusti

Jeden z bloku ve výše popsaném blokovém schématu je blok dolní propusti, a proto se zde budu tomuto tématu věnovat podrobněji.

Frekvenční filtry jsou zařízení, které selektují konkrétní frekvenční rozsahy. Selektce spočívá ve změně poměru hodnoty výstupního napětí k napětí vstupnímu. Tento poměr se nazývá napěťový přenos a je značen písmenem A . Matematický vzorec pro výpočet přenosu vypadá takto:

$$A = \frac{U_2}{U_1} \quad (1)$$

V praxi se obvykle užívá přenos v decibelech, vypočtený podle tohoto vzorce:

$$a = 20 \cdot \log \frac{U_2}{U_1} \quad (2)$$

Podle přenosových vlastností existují čtyři základní druhy filtrů: 1) **Dolní propust**; 2) **Horní propust**; 3) **Pásmová propust**; 4) **Pásmová zádrž**. Základní rozdíly mezi těmito jednotlivými druhy jsou zřejmé již z názvů. Další možnost dělení je podle použitých součástek pro selekci frekvenčního pásma. Mohou být použity kondenzátory, indukčnosti, anebo kombinace obou těchto součástek. Vlastnosti ideálního kondenzátoru jsou nekonečná impedance při nulové frekvenci a nulová impedance při nekonečné frekvenci. Vlastnosti ideální indukčnosti jsou nulová impedance při nulové frekvenci a nekonečná impedance při nekonečné frekvenci. Reálné součástky nikdy tyto vlastnosti plně nespĺňují, ale blíží se k nim. Čím je součástka kvalitnější, tím

je rozdíl mezi reálnými a ideálními vlastnostmi menší. Frekvenční filtry můžeme dále rozdělit na pasivní a aktivní. Pasivní mají vždy hodnotu přenosu A menší než jedna, kdežto aktivní ji mohou mít větší než jedna nebo rovnou jedné. V následujícím odstavci popíšeme vlastnosti jednotlivých základních pasivních filtrů [10], [11].

Dolní propust

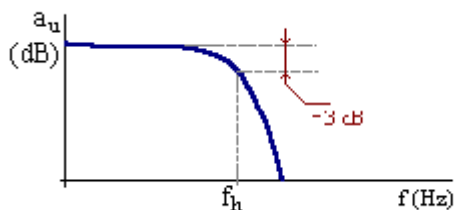
Tento filtr propouští stejnosměrné signály, signály o nízkých frekvencích a se zvyšující se frekvencí přestávají vstupní signál propouštět. Každý filtr má svou zlomovou frekvenci f_h . Zlomová frekvence se určuje u RC článku ze vztahu:

$$f_h = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (3)$$

Je to frekvence, při které je hodnota přenosu -3 dB ($A = 0,707$). Hodnota A se

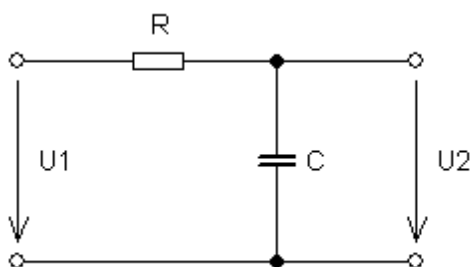
u RC článku vypočítá ze vztahu: $A = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \cdot C^2 \cdot R^2}}$ (4)

Charakteristika přenosu signálu v závislosti na frekvenci je zobrazena na *Obr. 8*

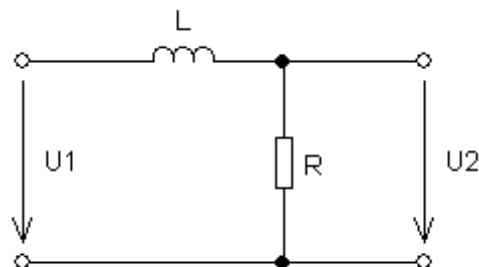


Obr. 8: Frekvenční charakteristika dolní propusti [10]

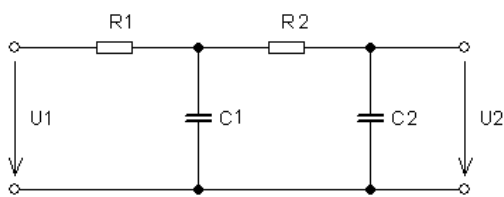
Hodnota zlomové frekvence f_h závisí na kapacitě použitého kondenzátoru, či indukci použité cívky. Strmost křivky nad zlomovou frekvencí závisí na stupni frekvenčního filtru. Je-li filtr jednostupňový, je strmost této křivky 20dB/dec a nazývá se filtr prvního řádu. Každý další stupeň zvyšuje strmost o 20dB/dec . Schéma zapojení dolních propustí prvního řádu a druhého řádu jsou zobrazeny na *Obr. 9 až Obr. 12*



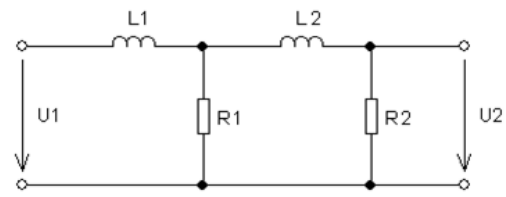
Obr. 9: Dolní propust 1. řádu s C [11]



Obr. 10: Dolní propust 1 řádu s L [11]



Obr. 11: Dolní propust 2. řádu s C [11]



Obr. 12: Dolní propust 2 řádu s L [11]

Horní propust

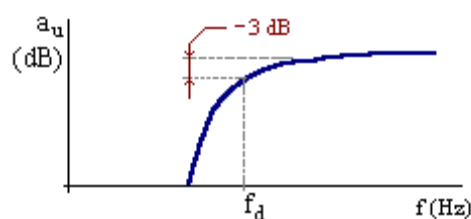
Horní propust se chová opačně než dolní propust, tedy propouští signály o vysokých frekvencích. Stejnoseměrné signály tento filtr nepropouští a signály, jejichž frekvence je nižší než zlomová frekvence naopak potlačuje. Nakolik tento signál potlačuje, záleží na parametrech filtru a na konkrétní hodnotě frekvence signálu. Obdobně jako dolní propust i každá horní propust má svou zlomovou frekvenci. U horní propusti je označována f_d a vypočítá se ze vztahu:

$$f_d = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (5)$$

Je to opět frekvence, při které je hodnota přenosu - 3 dB ($A = 0,707$). Hodnota přenosu se nechá vyjádřit vztahem:

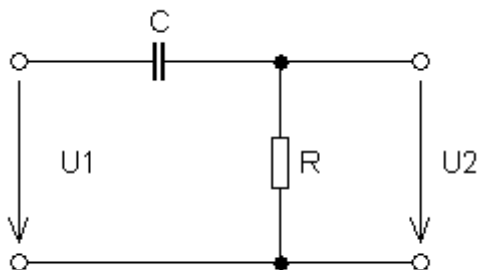
$$A = \frac{\omega \cdot C \cdot R}{\sqrt{1 + \omega^2 \cdot C^2 \cdot R^2}} \quad (6)$$

Charakteristika přenosu signálu v závislosti na frekvenci je zobrazena na *Obr. 13*.

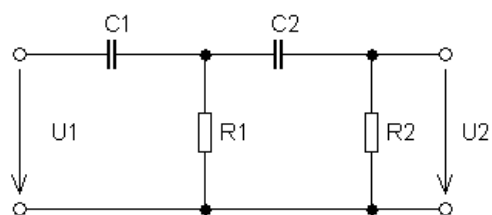


Obr. 13: Frekvenční charakteristika horní propusti [10]

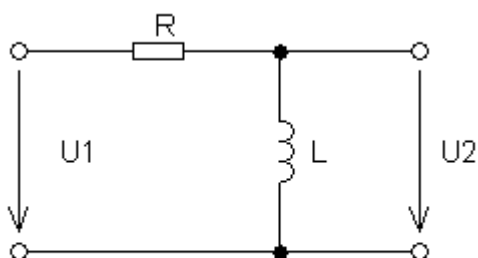
Hodnota zlomové frekvence f_d závisí opět na parametrech použitých součástek, obdobně jako u dolní propusti. Strmost křivky pod zlomovou frekvencí závisí opět na stupni frekvenčního filtru. Schéma zapojení horních propustí jsou zobrazeny na *Obr. 14 až Obr. 17*.



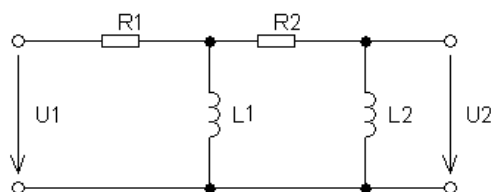
Obr. 14: Horní propust 1. řádu s C [11]



Obr. 16: Horní propust 2. řádu s C [11]



Obr. 15: Horní propust 1 řádu s L [11]



Obr. 17: Horní propust 2 řádu s L [11]

Pásmová propust

Pásmová propust plně propouští signál, jehož frekvence odpovídá hodnotě rezonanční frekvence propusti. Signály, jejichž frekvence se rezonanční frekvenci oddaluje, pásmová propust potlačuje. Síla potlačení odpovídá rozdílu frekvence signálu a rezonanční frekvence. Pásmová propust má tři základní hodnoty frekvence:

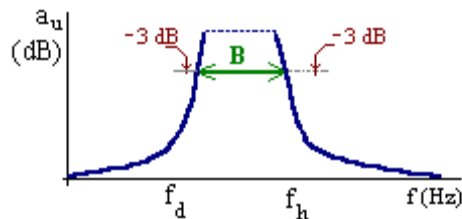
1. rezonanční frekvence f_0 , která se vypočte podle následujícího vzorce:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2}}, \quad (7)$$

2. dolní mez propustnosti f_d ,
3. horní mez propustnosti f_h .

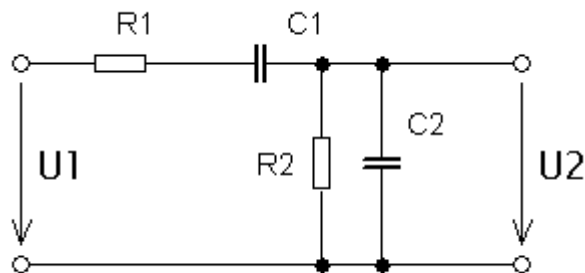
Chování obvodu při rezonanční frekvenci bylo již výše popsáno. Hodnoty frekvencí f_d a f_h jsou takové, kdy je přenos roven hodnotě -3 dB. Přenos se v tomto případě vypočte pomocí vzorce: $A = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}\right) + \left(\omega \cdot C_2 \cdot R_1 - \frac{1}{\omega \cdot C_1 \cdot R_2}\right)^2}}$. (8)

Frekvenční charakteristika pásmové propusti je zobrazena na *Obr. 18*.



Obr. 18: Frekvenční charakteristika pásmové propusti [10]

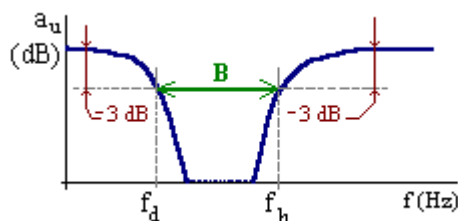
Rozdíl mezi těmito hodnotami je označen písmenem B a nazývá se šířka pásma. Tato šířka závisí na hodnotách a kvalitě součástek. Schéma pásmové propusti je zobrazené na *Obr. 19*.



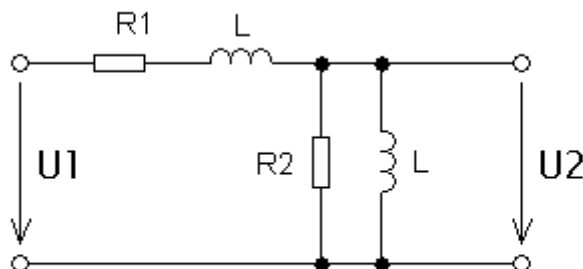
Obr. 19: Schéma frekvenční pásmové propusti [11]

Pásmová zadrž

Pásmová zadrž plně potlačuje signál, jehož hodnota frekvence odpovídá rezonanční frekvenci. Signály, jejichž frekvence se rezonančním frekvencím oddalují, pásmová zadrž propouští. Pásmová zadrž má obdobně jako pásmová propust tři základní hodnoty frekvence. Frekvenční charakteristika pásmové propusti je zobrazena na *Obr. 20* a na *Obr. 21* je její schéma [10],[11].



Obr. 20: Frekvenční charakteristika pásmové propusti.[10]



Obr. 21: Schéma frekvenční pásmové propusti [11]

2.2.2 Frekvenční modulace

Jak jsem již výše zmiňoval v odstavci: 2.1 Popis modulu XTR-434L, modul XTR-434L funguje na základě frekvenční modulace, a proto se zde budu věnovat podrobnému rozboru.

Obecně je definováno, že modulace je nelineární proces, kterým se mění charakter vhodného nosného signálu pomocí modulujícího signálu. Modulace se velmi často používá při přenosu nebo záznamu elektrických nebo optických signálů [4], [5], [6].

Princip frekvenční modulace

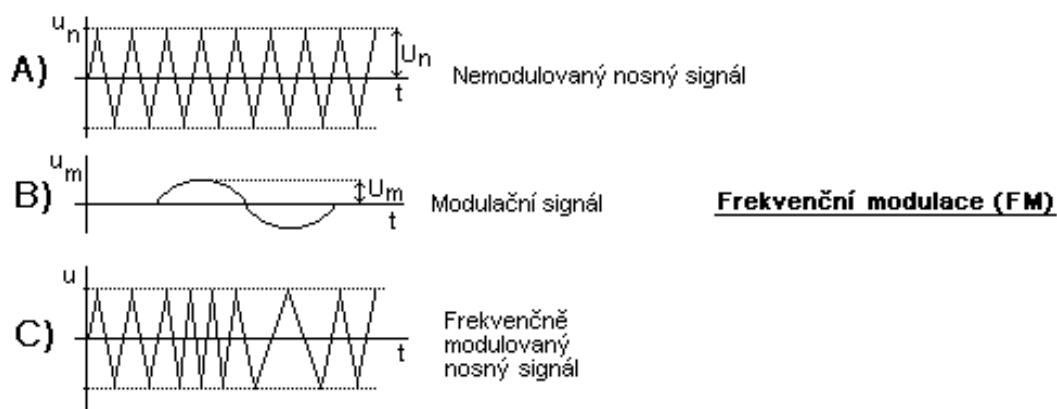
Při kmitočtové modulaci (FM) zůstává amplituda nosné konstantní a působením nf modulačního signálu se mění kmitočet nosné vlny. Velikost změny kmitočtu, tzv. kmitočtový zdvih, závisí jen na velikosti amplitudy modulačního signálu. Pro časový průběh nosného vysokofrekvenčního signálu platí:

$$U_n(t) = U_n \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (7)$$

kde U_n - maximální amplituda nosného signálu,

ω - frekvence nosného signálu,

φ - okamžitá fáze ve zvoleném začátku ($t = 0$).



Obr. 22: Princip frekvenční modulace (FM) [6]

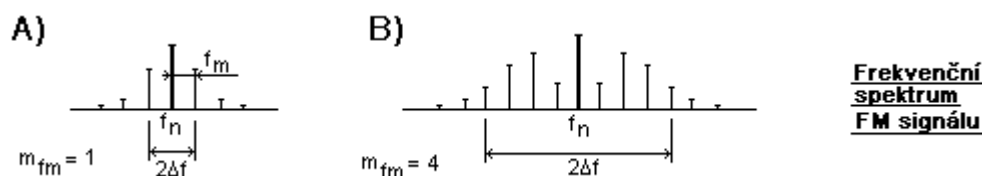
Na *Obr. 22 – A*) je znázorněna vysokofrekvenční nosná vlna, na *Obr. 22. – B*) pak modulační nízkofrekvenční vlna a na *Obr. 22 – C*) je časový průběh modulované vlny. Frekvence původní vysokofrekvenční vlny (*Obr. 22 – A*) se tedy mění v porovnání se svou původní frekvencí následovně - při kladném průběhu se kmitočet zvyšuje (vzhledem k nosnému kmitočtu) v závislosti na amplitudě, při záporném průběhu se kmitočet zmenšuje (vzhledem k nosnému kmitočtu) v závislosti na amplitudě, při přechodu z kladného do záporného průběhu nebo naopak je kmitočet roven nosnému kmitočtu frekvenční modulace. Čím je amplituda modulačního signálu větší, tím je větší i maximální odchylka kmitočtu od nosné frekvence. Tyto krajní kmitočtové odchylky Δf nazýváme kmitočtový zdvih. Počet kladných i záporných odchylek kmitočtu anténního proudu za 1 sekundu je roven modulačnímu kmitočtu f_m . Měřítkem působení modulačního signálu na nosnou vlnu je tzv. modulační index frekvenční modulace m_{fm} , pro který platí vztah:
$$m_{fm} = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} = \frac{\Delta f}{f_m}, \quad (9)$$

kde $\Delta\omega$, resp. Δf - největší změny kmitočtu nosné vlny, tj. největší kmitočtový zdvih
 ω_m , resp. f_m - modulační kmitočet

Modulační index neboli modulační faktor se používá k vyjádření relativní změny nosného kmitočtu, způsobenou amplitudou modulačního signálu. Určuje spektrální rozložení vysílaného signálu. Vyšší modulační index znamená větší šířku pásma [4], [5], [6].

Frekvenční modulace (FM) - frekvenční spektrum

Matematickým rozbořem kmitočtově modulovaného vysokofrekvenčního signálu bychom dospěli k závěru, že podobně jako u amplitudové modulace odpovídají každé složce modulačního signálu nové postranní složky. Na rozdíl od amplitudové modulace však každá složka modulačního signálu vytvoří při frekvenční modulaci teoreticky nekonečné množství postranních složek. Kmitočtový odstup jednotlivých postranních složek je roven modulačnímu kmitočtu f_m .



Obr. 23: Frekvenční spektrum [6]

Amplitudy postranních složek se s narůstající frekvenční vzdáleností od nosné frekvence postupně zmenšují a závisí na modulačním indexu m_{fm} , jejich hodnota se určuje pomocí Besselových funkcí. Čím větší je modulační index m_{fm} , tím je vysílaná energie rozdělena do většího počtu postranních složek - viz *Obr. 23*.

Kmitočtově modulovaný vysílač tedy vyplňuje celkem kmitočtové pásmo, které se rovná přibližně dvojnásobku kmitočtového zdvihu Δf . Jelikož kmitočtový zdvih závisí pouze na amplitudě modulačního signálu, nezávisí šířka kmitočtového pásma frekvenčně modulovaného vysílače na velikosti modulačního kmitočtu f_m , což je charakteristická vlastnost frekvenční modulace.

Z hlediska potřebného kmitočtového pásma je teoreticky výhodné provést frekvenční modulaci s minimálním maximálním kmitočtovým zdvihem Δf - tzv. *úzkopásmovou frekvenční modulaci* (cca $\Delta f = 10$ kHz), která je však kvalitativně špatná. Nejvíce se proto používá frekvenční modulace o kmitočtovém zdvihem $\Delta f = 50$ kHz (popř. $\Delta f = 75$ kHz), zabrané pásmo je pak dvojnásobkem těchto frekvenčních zdvihů - tzv. *širokopásmová frekvenční modulace* [4], [5], [6].

Frekvenční modulace (FM) - výkon

Při vynesení závislosti vyzářeného výkonu na modulačním indexu m_{fm} zjistíme, že při hodnotách modulačního indexu $m_{fm} = 2,5$ a vyšších je výkon nosné vlny téměř nulový, takže celý stále konstantní výkon vysílače frekvenčně modulovaného signálu je výkonem v postranních pásmech užitečných pro přenos informace (v porovnání s AM, kde je to cca polovina).

Frekvenční modulace (FM) - preemfáze, deemfáze (odstup signál - šum)

Rušení působením šumu se zvyšuje s rostoucí frekvencí modulačního signálu. Tento nedostatek lze zlepšit zvýšením modulačního indexu m_{fm} . Optimálního odstupu signálu od rušení lze při přenosu signálu frekvenční modulací dosáhnout optimálním využitím frekvenčního zdvihu Δf . Proto se na straně vysílače v kodéru od jisté mezní frekvence (oblast vyšších kmitočtů - cca od 3,2 kHz) uměle zvyšují amplitudy modulačního signálu, a to úměrně s rostoucí frekvencí - tzv. *preemfáze*. Na straně přijímače se za demodulátorem v dekodéru provede zpětná korekce - tzv. *deemfáze*, která účinky preemfáze opět vyrovná. Přenesená informace má pak věrně původní průběh. Protože obvod deemfáze v přijímači současně potlačil se zdůrazněným signálem také šum, zůstal odstup signálu od šumu, dosažený zdůrazněním vyšších frekvencí ve vysílači, zachován [4], [5], [6].

Frekvenční modulace (FM) - vlastnosti a užití

Výhody:

- možnost vyloučení poruch amplitudového charakteru (užitím omezovače amplitudy v přijímači, amplituda u FM nepřenáší žádnou informaci)
- jednoduchý modulátor (v principu oscilátor s frekvencí nosné vlny, který je rozladován modulačním signálem)
- dobré výkonové využití
- menší vzájemné rušení dvou vysílačů
- lepší odstup užitečného signálu od hluku a šumu (preemfáze, deemfáze)

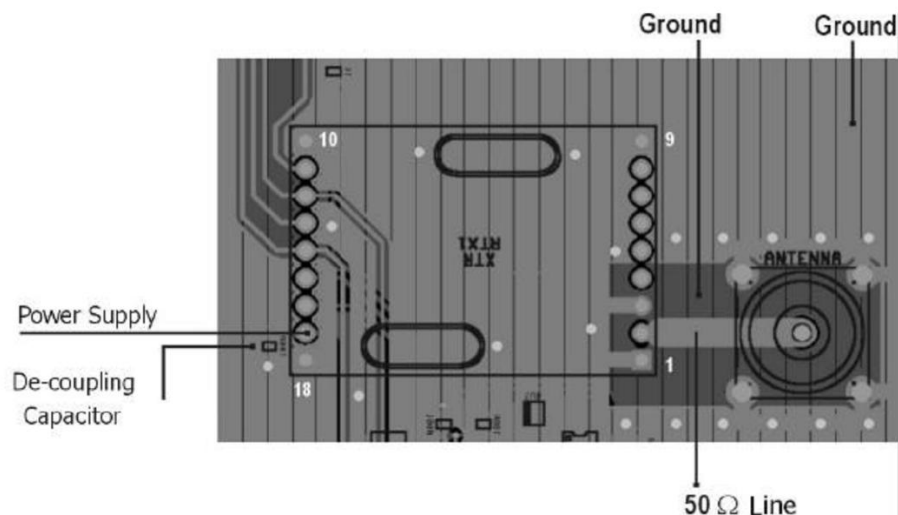
- dobrá dynamika přenosu (poměr mezi nejslabším a nejsilnějším přeneseným modulačním signálem)

Nevýhody:

- malý vysílací dosah
- složitější demodulátor
- větší šířka přenášeného pásma (lze užít pouze na VKV) [4], [5], [6].

3 Schéma zapojení komunikačního modulu

V tomto odstavci je popsán obvod, který je použit pro praktické nasazení komunikačního modulu. Obvod musí zajišťovat stabilizovanou hodnotu napětí, která musí při všech možných režimech obvodu být ve výše uvedené toleranci. Dále musí tento obvod realizovat propojení modulu se zařízením, pro které realizuje komunikaci. Další důležitý účel tohoto obvodu je propojení modulu s anténou. Impedance této antény musí být pro ideální vlastnosti bezdrátového přenosu 50Ω . Výřez části desky plošného spoje, na kterém je zobrazené připojení antény pro správnou elektromagnetickou kompatibilitu, je zobrazen na *Obr. 24*.



Obr. 24: Výřez části desky plošného spoje [1]

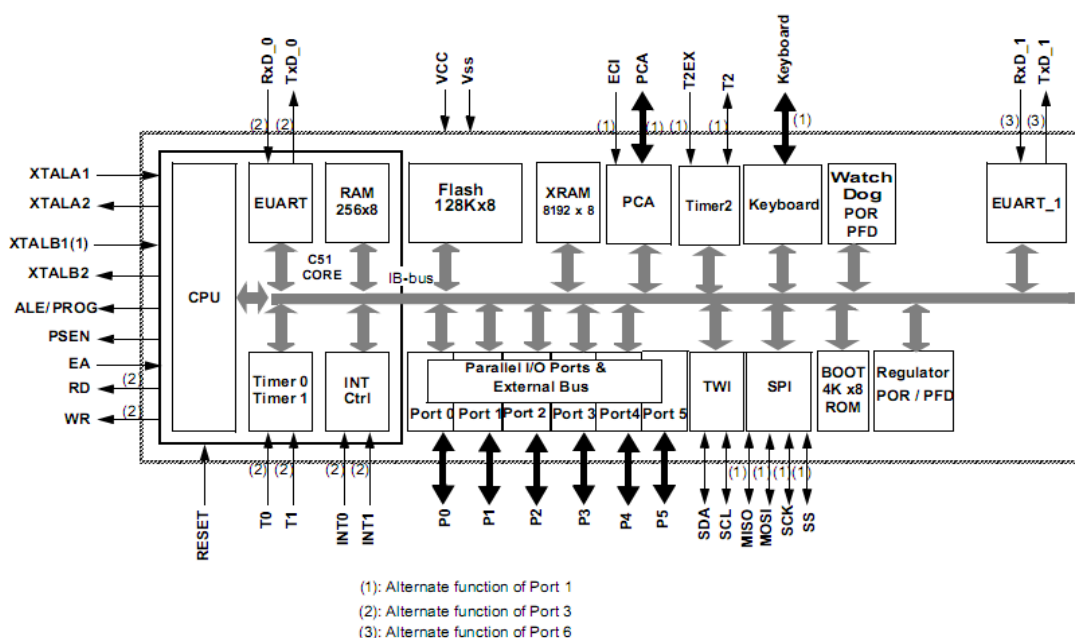
Schéma zapojení celého obvodu pro připojení modulu je zobrazené v příloze *Schéma obvodu pro připojení modulu*.

3.1 Popis mikroprocesoru

Další důležitá část obvodu je integrovaný obvod označený 89C51RE2. Jedná se o jednočipový osmibitový mikropočítač AT89C51RE2. Mikroprocesor fungující na technologii CMOS, je kompatibilní se svým předchůdcem 80C52 a instrukční sada mikropočítače je kompatibilní s instrukcemi známého mikropočítače 8051. V tomto

případě se jedná o procesor typu CISC. Bližší informace o tomto typu procesoru jsou v kapitole 3.1.1 *Procesory typu CISC a RISC*

Mikroprocesor 8051 má 44 vývodů a je vyráběn v pouzdře PLCC44 či VQFP44. Napájecí napětí mikroprocesoru musí být v rozsahu 2,7V až 5,5V. Teplotní rozsah pro správnou funkci mikroprocesoru je -40°C až 85°C . Paměť programu je 256 bytů a výrobce uvádí počet přepsání této paměti 100 000 cyklů. Ve standardním režimu mikroprocesor pracuje na frekvencích 40 MHz a 60 MHz. Ve speciálním režimu X2 pracuje na frekvencích 20 MHz a 40 MHz. Na Obr. 25 je blokové schéma, které zobrazuje vnitřní strukturu mikroprocesoru. Ve zbytku odstavce jsou stručně popsány některé funkční bloky mikroprocesoru [2], [12].

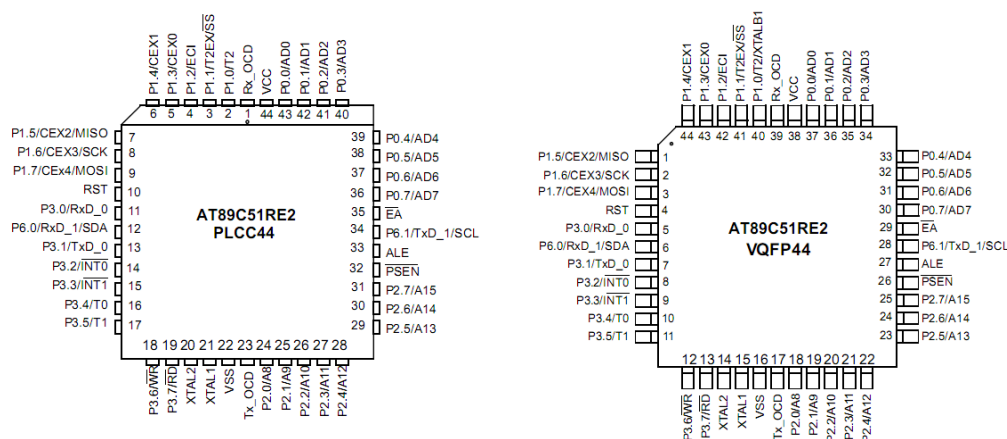


Obr. 25: Blokové schéma mikroprocesoru AT89C51RE2 [2]

Všechny bloky mezi sebou komunikují prostřednictvím sběrnice, která je označena **IB-bus**. Blok **CPU** je samotný procesor mikroprocesoru. Bloky označení **Timer 0**, **Timer 1** a **Timer 2** jsou čítače/časovače. Všechny čítače/časovače jsou šestnáctibitové. Dají se využít buď ke sčítání impulzů pro jejich následné zpracování (nastavení funkce jako čítač), nebo k operacím, ve kterých je pracováno s reálným časem (nastavení funkce jako časovač). Nastavení těchto timerů do funkcí čítač nebo časovač může být u jednotlivých timerů mikroprocesoru různé. Konkrétní nastavení

záleží vždy na požadavcích na funkce mikropočítače. Bloky **EUART** a **EUART_1** realizují připojení sériové sběrnice UART k mikropočítači. Bloky označené **RAM** a **XRAM** jsou interní paměti RAM. Bližšímu popisu se věnují kapitole 3.1.2 *Rozdíly mezi paměti RAM, ROM a Flash* [2], [12].

V našem případě má základní paměť RAM kapacitu 256 bytů. Další paměť RAM je označená XRAM a má kapacitu až 8192 bytů. Kapacita této paměti je softwarově volitelná v těchto hodnotách: 0, 256, 512, 768, 1024, 1792, 2048, 4096, 8192 bytů. Blok **INT Ctrl** zpracovává příznaky pro přerušení. K funkci mikropočítače může být využito až jedenáct zdrojů přerušení a je možné je nastavit do čtyř různých úrovní priorit. Blok označený **Flash** je interní paměť flash s kapacitou paměti 128 kbyťů. Bloky označené **Parallel I/O Ports & External Bus** a **Port 0 až Port 5** realizují propojení mikropočítače s okolím. Konkrétní použití záleží na nastavení. Jedna možnost je nastavení vstupně/výstupní brány. Brány P0 až P3 jsou osmibytové. Všechny tyto vývody mají ale i další možnost použití. Tyto možnosti lze vyčíst z *Obr. 26*, na kterém jsou zobrazeny možná pouzdra mikropočítače s popisy vývodů. Blok **SPI** realizuje komunikaci prostřednictvím rozhraní SPI. Blok **BOOT 4K x8 EEPROM** je paměť ROM, která má kapacitu 4 kbyty. Z paměti ROM je možné pouze číst a v mikropočítači je používána k načtení prvních instrukcí do paměti RAM, a to po zapnutí mikropočítače. Blok **Regulator POR/PFD** realizuje monitorování napájecího napětí. **Keyboard** slouží k připojení klávesnice. Blok **WatchDog POR PFD** slouží ke kontrole správnosti běhu programu a kontrole hodnot napájení. Tento blok je podrobně rozebrán v kapitole 3.1.3 *WatchDog* [2], [12]



Obr. 26: Pouzdra mikropočítače s popisem vývodů [2]

3.1.1 Procesory typu CISC a RISC

CISC - počítač se složitým souborem instrukcí (Complex Instruction Set Computer). Operační paměť je mnohem pomalejší než procesor. Aby se výpočet nezpomaloval několika přístupy do paměti při vykonání jedné operace, vznikly složitější instrukce. Instrukční soubor je rozšířen o nové a složitější operace, aby pro celou operaci stačilo jen načtení jediné instrukce. Řadič procesoru je navrhnut na základě řídicí paměti, která uchovává mikroprogramy jednotlivých strojových instrukcí. Vykonání strojové instrukce probíhá jako posloupnost mikrooperací. Posloupnost mikroinstrukcí je dána v řídicí paměti. Řídicí paměti (většinou ROM) jsou mnohem rychlejší než operační paměť. S rozvojem mikroelektroniky se řídicí paměti integrovaly s procesorem do jednoho čipu, stejně jako vyrovnávací paměť (cache) instrukcí nebo údajů. Procesory CISC začaly využívat zřetězené zpracování mikroinstrukcí a později i zřetězené zpracování, proto jsou v současnosti nejvíce rozšířeny (Pentium, PentiumPro) [13].

RISC - počítač s redukováným souborem instrukcí (Reduced Instruction Set Computer). Složitě a málo používané instrukce byly přesunuty do programu, aby nezabíraly prostor v řídicí paměti čipu. Instrukční soubor obsahuje pouze jednoduché a nejčastěji používané instrukce. Program zapsaný v jednoduchých instrukcích bude mít sice větší počet instrukcí, ale mnohem nižší průměrný počet taktů na instrukci.

Základní rysy RISC

- Podstatná část instrukcí se provádí během jednoho strojového cyklu
- Instrukce se provádějí v obvodovém řadiči (nepoužívá se mikroprogramování)
- Celkový počet instrukcí a způsobů adresování je malý
- Pro spolupráci s hlavní pamětí jsou použity pouze dvě instrukce, a to zápis do paměti a čtení z paměti
- Instrukce mají pevnou délku a pevný formát, který přesně vymezuje funkci jednotlivých bitů nebo skupin bitů
- V procesoru je použit velký počet registrů
- Složitost se z technického vybavení a ze souboru instrukcí částečně přesouvá do optimalizujícího kompilátoru [13]

3.1.2 Rozdíly mezi pamětí RAM, ROM a Flash

ROM (Read Only Memory)

Paměti typu ROM jsou paměti konstantní, u kterých jsou data trvale uložena. Jedná se tedy o statické, energeticky nezávislé paměti, určené pouze ke čtení. Data jsou v nich uložena buď přímo výrobcem nebo u paměti typu PROM (Programable Read Only Memory) je možné například pomocí tavných spojek podle požadavků uživatele do jednotlivých míst paměti data v binární formě jednou pro vždy zapsat. V současné době existují paměti označované zkráceně EPROM, u kterých je možno speciálním technologickým postupem zapsaná data vymazat a zapsat nová. Rychle se též začínají uplatňovat tzv. EEPROM (Flash), tj. paměti, do nichž lze zapsat i vymazat data elektrickou cestou a přesto zůstanou zachována po vypnutí napájení. Znamé aplikace jsou například Flash BIOS u základních desek osobních počítačů, rozšiřující karty do notebooků nahrazující diskovou paměť, paměťové karty digitálních fotoaparátů apod. [12], [15].

RAM (Random Access Memory)

Takto se označuje libovolná (polovodičová) paměť, do které je možno libovolně přistupovat a cokoli měnit. Po ztrátě napětí (výpadku proudu) se veškeré informace v ní uložené ztratí. Jedná se o paměti, které jsou energeticky závislé. Podle principu činnosti tuto paměť rozdělujeme na statickou a dynamickou. Statické paměti uchovávají informaci v sobě uloženou po celou dobu, kdy jsou připojeny ke zdroji elektrického napájení. Paměťová buňka SRAM je realizována jako bistabilní klopný obvod, tj. obvod, který se může nacházet vždy v jednom ze dvou stavů, které určují, zda v paměti je uložena 1 nebo 0. V paměti DRAM (dynamická paměť) je informace uložena pomocí elektrického náboje na kondenzátoru. Tento náboj má však tendenci se vybit i v době, kdy je paměť připojena ke zdroji elektrického napájení. Aby nedošlo k tomuto vybití a tím i ke ztrátě uložené informace, je nutné periodicky provádět tzv. refresh, tj. ožívování paměťové buňky. Tuto funkci plní některý z obvodů čipové sady. V počítači je paměť RAM využita jako operační paměť pro ukládání aktivních programů a dat [12], [15].

3.1.3 WatchDog

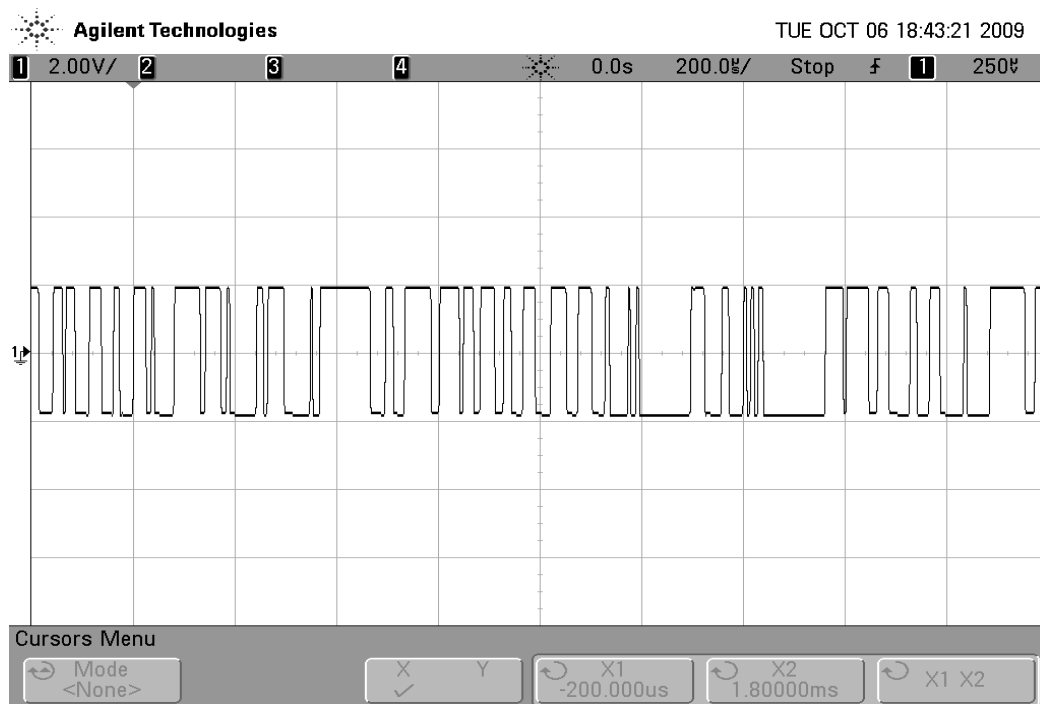
Blok **WatchDog POR PFD** slouží ke kontrole správnosti běhu programu a kontrole hodnot napájení. Obvod watchdog funguje jako časovač (v podstatě jde o čítač), jež časuje po určitý interval. Tento interval je buď pevně dán, nebo ho lze nastavit zapojením a hodnotami vnějších součástek, příp. ho lze nastavit programově. Pokud tedy watchdog dočasuje celý interval, vyvolá automaticky RESET mikroprocesoru. Aby k RESETu nedošlo, musíme zajistit jeho vynulování (inicializaci) před dosažením časového intervalu. To provedeme buď externím signálem nebo znovuzapsáním hodnoty do řídicího registru watchdogu a nebo speciální instrukcí. První možnost platí pro externí watchdog, další dvě pro integrovaný watchdog.

A k čemu tedy vlastně obvod watchdog slouží? Jednoduše řečeno - k ochraně proti "zakousnutí" nebo též "zatužení" programu. Pokud píšeme jakýkoliv rozsáhlý program, vždy se nám může stát, že za určitých okolností může dojít k zacyklení programu, třeba vlivem náhodné změny dat v paměti nebo neošetřené kombinace vstupních dat. Další chybou může být chybné maskování přerušovacího signálu, chybná konfigurace periferních obvodů, chyba u sériového kanálu atd. Tyto chyby (včetně elektromagnetického rušení, a to pokud je zařízení v takovém nepříznivém prostředí umístěno) mohou vést k nedefinovatelnému chování programu. Protože naprostá většina aplikací s mikroprocesory vyžaduje chod v reálném čase (tj. i zpracování časově kritických událostí), výše uvedeným chybovým stavům je nutné zabránit i za cenu RESETu mikroprocesoru. K tomu využijeme obvod watchdog, a to následovně - do našeho programu vložíme instrukce, kterými zajistíme obnovování (přesně nulování) hodnoty časovače. Tím zajistíme, že při správném chodu programu nedojde k dočasování časového intervalu watchdogu a tím nedojde ani k RESETu. Z toho vyplývá, že musíme zajistit potřebnou periodu obnovování (nulování) časovače watchdogu [13],[14].

4 Řešení problému

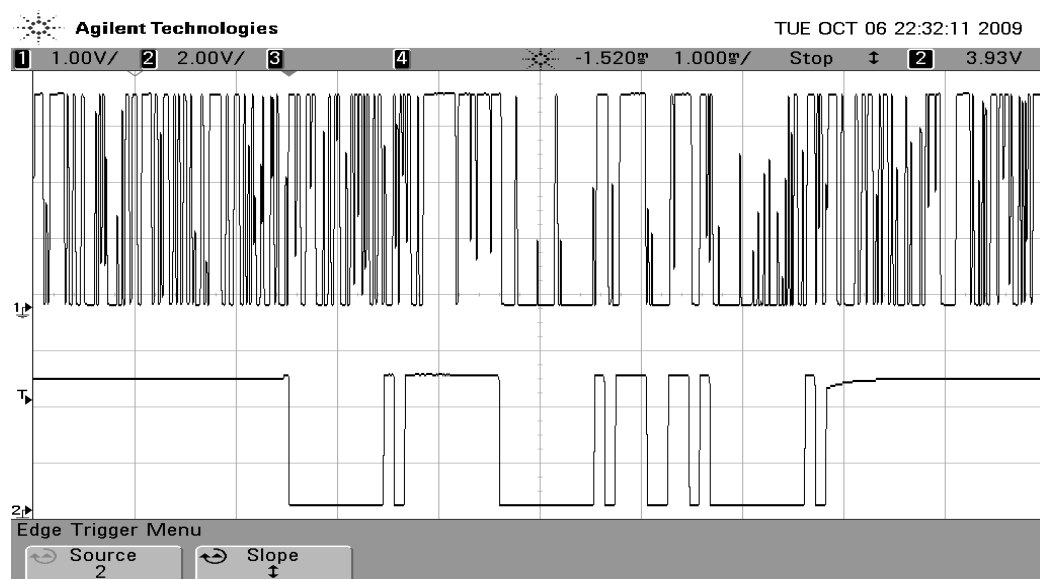
Prvotně bylo počítáno, že komunikace bude řešena pro přenos jednoho bytu v libovolný čas a nikoliv pro hromadný přenos dat. Citlivost přímače je -96 dBm a v tomto okamžiku nastal s příliš velkou citlivostí problém. V laboratořích byla při měření spektrálním analyzátozem naměřena na nosném kmitočtu 433,92 MHz úroveň signálu na hodnotě -75 dBm. Z toho důvodu modul hlásil detekci nosného signálu (Carrier Detect) i při neaktivním vysílání. Tento neidentifikovatelný signál (šum) pak modul převáděl na seriová data, která mikroprocesor zpracovával jako platná data. Spolehnout se tedy na získané informace od komunikačního modulu nebylo možné, a proto se musel upravit datový rámec a softwarově provádět vlastní detekci platných dat.

Jak jsem již zmínil v předešlém odstavci, úroveň signálu v laboratořích byla na hodnotě -75 dBm a hladina modulu je kolem -96 dBm. Na základě tohoto faktu modul detekoval nosný kmitočet, Carrier Detect byl aktivní a tím byl zahájen příjem dat. Tato data jsou znázorněna na *Obr. 27*. Z obrázku můžeme na první pohled vidět data, která se podobají normálním přenášeným datům. Při podrobnějším zkoumání však zjistíme, že signál je zcela náhodný a neodpovídá pravidlům datového rámce komunikačního standardu RS232. Tudíž tato data jsou nepřijatelná pro zpracování sériovým kanálem procesoru a detekce platných dat se nemohla provádět v závislosti na signálu /CD (Carrier Detect).



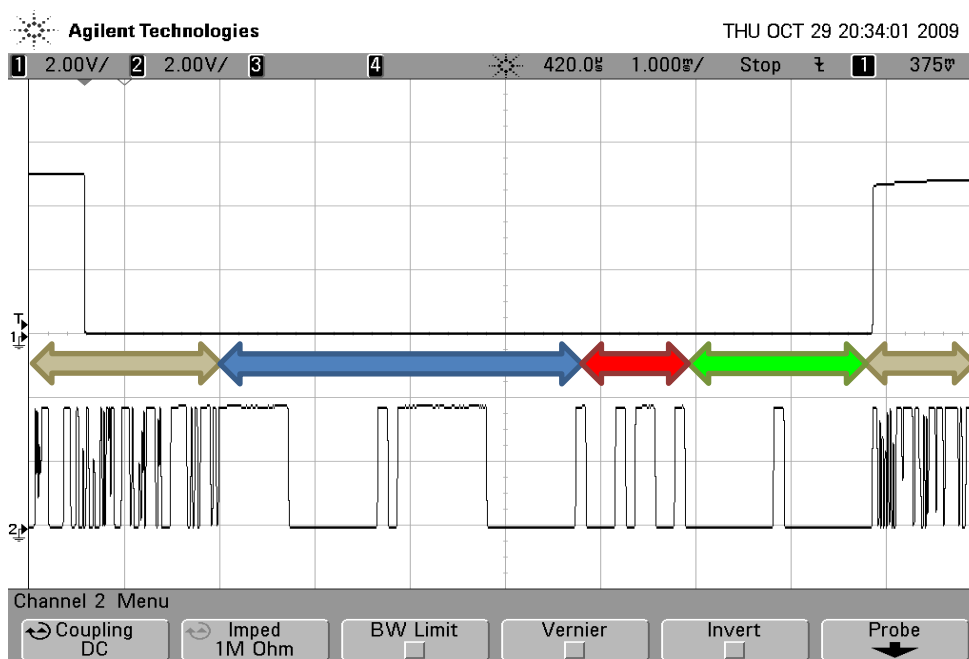
Obr. 27: Neplatná data (šum) [16]

Na *Obr. 28* jsou vidět dva průběhy signálů. V horní části jsou znázorněna neplatná data společně se šumem. V dolní části jsou vidět data na straně vysílače, která jsou určena k fyzickému přenosu. Naším úkolem je právě programově oddělit data od šumu.



Obr. 28: Přijatá neplatná data a originálně vysílaná data na straně vysílače [16]

Jak jsem již zmínil v předešlém odstavci, úkolem mnou navrhovaného programu je oddělit platná data od nežádoucího přijímaného šumu. Na *Obr. 29* jsou dva průběhy. V horní části je vidět signál TX_ENABLE na straně vysílače. Ve spodní části je z počátku šum, dále vidíme hlavičku vysílaného signálu, která je složená ze sekvence hexa symbolů: 0xFFh, 0x00h, 0xFFh, 0x00h. Za hlavičkou se nachází námi přenášená data, za nimi ukončovací hlavička 0x00h, 0x00h, poté opět šum.



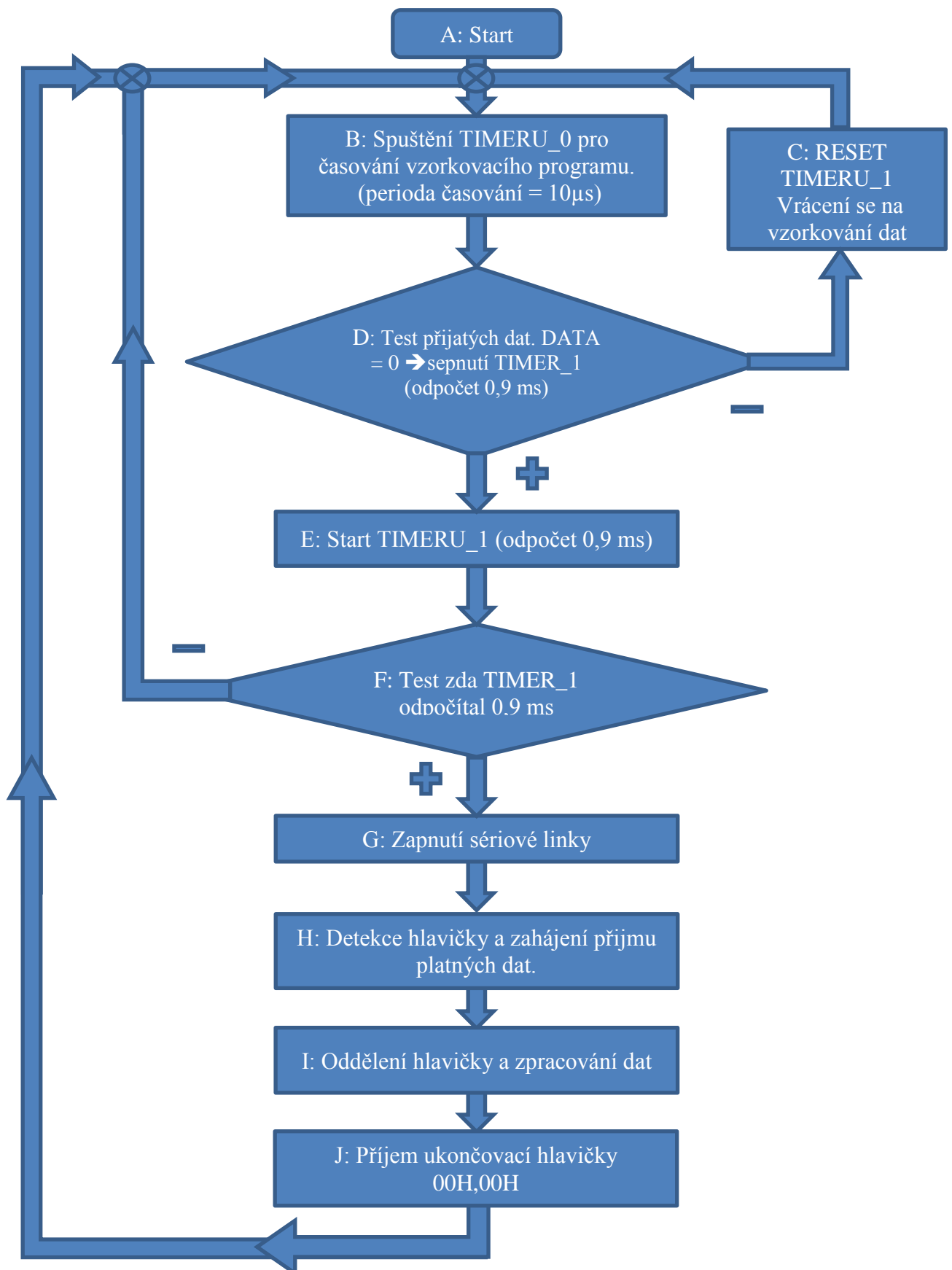
Obr. 29: Zobrazení šumu, hlavičky a platných dat [16]

Počáteční hlavička, před přenášenou informací, je jedna ze stěžejních součástí vysílaného signálu pro realizaci programu na rozeznání dat. První dva byty signálu (hlavičky) jsou na přijímací straně ignorovány, jelikož reakční doba pro příjem dat je u tohoto typu modulu, jak jsem již rozváděl v popisu, kolem 3 ms. Detekce platných vysílaných dat je realizována tak, že sériový kanál je na začátku neaktivní a vstup tohoto kanálu je používán jako klasický I/O pin. V rychlé programové smyčce je naprogramován znovu spustitelný čítač, který je vždy nulován logickou úrovní 1 na vstupním pinu sériového kanálu. Objeví-li se na vstupu logická úroveň 0 platného vysílaného signálu, která je při komunikační rychlosti 9600 bps a vysílané hodnotě 0x00h 937,5 μ s, spustí se čítač, který je nastaven na délku čítání 900 μ s. Při jeho přetečení je vyvoláno přerušení, ve kterém se povolí příjem dat po sériové lince. Následná přijatá data jsou zpracována a hlavička datového paketu je oddělena od přenášeného bytu, který je požadovanou přenášenou informací.

4.1 Popis vývojového diagramu programu

V 4.2 *Vývojový diagram programu* je popsán princip celého programu. První *blok A* spouští celý program a nastavuje veškeré periferie procesoru, myslím tím TIMERY, přerušení a tak dále. Podstatnou částí programu je vzorkovací obvod, který zkoumá příchozí data. *Blok B* spouští první čítač TIMER_0, který slouží k časování vzorkovacího programu. Dle Shannon-Kotělnikovo teorému musí být vzorkovací frekvence minimálně dvakrát větší než frekvence vzorkovaná. To v našem případě splníme s několika násobnou rezervou, neboť vzorkovací perioda TIMERU_0 je 10 μ s a námi vzorkovaný signál, respektive hlavička signálu trvající 937,5 μ s má hodnotu 0x00h. *Blok D* má na starosti testování dat. Objeví-li se na vstupu logická úroveň 0 platného vysílaného signálu, která je při komunikační rychlosti 9600 bps a vysílané hodnotě 0x00h 937,5 μ s, spustí se druhý čítač TIMER_1 viz *blok E*. V opačném případě, kdy se na vstupu objeví logická úroveň 1, aktivuje se *blok C*, který má na starosti RESET TIMERU_1 a následné vrácení programu na vzorkování dat. *Blok F* je TIMER_1, ten je nastaven na délku čítání 900 μ s. Dokud tento čítač nepřeteče, vrací program na počátek vzorkování. To v praxi tedy znamená, že dokud na vstup přichází logická úroveň 0, čítač se odpočítává. Jestliže za dobu 900 μ s na vstup přijde logická úroveň 1, *blok C* čítač odpočítávání resetuje a nově začne odpočítávat až při nové logické 0 na vstupu. Aby tedy TIMER_1 přetekl, musí být na vstupu po dobu 900 μ s trvalý signál logické úrovně 0. Vzhledem k tomu, že měřený šum má logické úrovně řádově jednotky až desítky mikrosekund, máme jistotu, že při přetečení TIMERU_1 se jedná o hlavičku námi vysílaného signálu. *Blok G* vyvolá po přetečení čítače přerušení a povolí příjem dat po sériové lince. V dalším *bloku H* se pak detekuje hlavička a zahájí se příjem platných dat. Následně program oddělí hlavičku a zpracuje data, ve vývojovém diagramu je tento krok naznačen v *bloku I*. V posledním *bloku J* přijmeme ukončovací hlavičku 0x00h, 0x00h a vrátíme se na počátek, respektive na vzorkování dat.

4.2 Vývojový diagram programu



Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vyřešení tří stěžejních bodů. První a druhý bod spočívá v prostudování vlastností modulu XTR-434L a dalšího hardwaru, který je nutný k správné práci modulu. Myslím si, že každý student, studující obor Komerční elektrotechniky by měl mít všeobecný přehled o elektronice a elektrotechnice. Právě z toho důvodu jsem se zabýval podrobněji tématy jako jsou obecná komunikace, popis a rozdíly mikroprocesorů a v neposlední řadě dělení paměti. Tato témata jsem se snažil rozebrat tak, aby i lidem do tohoto oboru nezasvěceným při přečtení dávala informace potřebné k pochopení problematiky. Pro snadnější nastínění jsem užil pomocná schémata, která čtenáři práce pomohou pochopit dané principy.

Třetím stěžejním bodem bakalářské práce je řešení problému s komunikací. Tento problém spočívá v selekci šumu od platných dat. Optimalizováním programu pro mikroprocesor jsem dosáhl téměř stoprocentní spolehlivosti komunikace. Pro bezchybnou komunikaci musí vysílaný signál obsahovat počáteční hlavičku 0x00h, 0xFFh, 0x00h, 0xFFh, kterou pak pomocí vzorkovacího obvodu hledáme v šumu. Vzhledem k tomu, že logická úroveň hlavičky je přibližně 100 krát delší než logická úroveň šumu, máme při vzorkování jistotu, že jsme detekovali námi požadovaný signál a můžeme tak povolit příjem dat.

Dalším předpokladem pro spolehlivou komunikaci je držet se doporučení pro návrh desky plošného spoje, které je naznačeno v příloze. Minimální přenosová rychlost, kterou je modul XTR-434L schopen přenášet, je 9600 bps. Nedoporučuji komunikační rychlost zvyšovat z toho důvodu, že užitečný signál by se více přibližoval neužitečnému signálu (šumu) a vzrostl by tak problém s detekováním platných dat.

Domnívám se, že mnou navržený vývojový diagram bude dobrým podkladem pro bezchybnou obousměrnou komunikaci a splní tedy požadavky kladené na mou závěrečnou práci absolventa bakalářského studia na elektrotechnické fakultě.

Seznam použité literatury

- [1] Katalogový list obvodu XTR-434: AUREL: XTR-434L. *AUREL* [online]. 2006 [cit. 2011-12-8]. Dostupné z: http://www.aurelwireless.com/wp-content/uploads/user-manual/650200588G_um.pdf
- [2] Katalogový list mikroprocesoru ATMEL: AT89C51RE2. *ATMEL* [online]. 2008 [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc7663.pdf>
- [3] Katalogový list integrovaného obvodu FTDI CHIP: FT 232R. *FTDI CHIP* [online]. 2010 [cit. 2012-02-17]. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf
- [4] *MODULOVANÉ SIGNÁLY* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2012-01-26]. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FEI/MS/Modulovane%20signaly.pdf>.
Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava..
- [5] Wikipedia: Modulace. *Wikipedia* [online]. 2011 [cit. 2012-02-05]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Modulace>
- [6] Frekvenční modulace: FM. *Frekvenční modulace* [online]. 2011 [cit. 2012-02-14]. Dostupné z: [http://dlabos.wz.cz/en/Kmitoctova_modulace_\(FM\).html](http://dlabos.wz.cz/en/Kmitoctova_modulace_(FM).html)
- [7] Inteligentní podpora navigace na WWW s využitím XML: Komunikační infrastruktura. [online]. [cit. 2011-09-11]. Dostupné z: <http://www.kosek.cz/diplomka/html/komunikace.html#d0e534>
- [8] Encyklopedie fyziky: PŘENOS INFORMACÍ ELEKTROMAGNETICKÝM VLNĚNÍM. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006 [cit. 2011-09-06]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/369-prenos-informaci-elektromagnetickym-vlnenim>
- [9] Základy informatiky: Přenos informace. *Základy informatiky* [online]. 2011 [cit. 2012-06-11]. Dostupné z: <http://zin.tym.cz/index.php?k=0304>
- [10] Elektronik: Filtry. *AmaPro* [online]. 2011 [cit. 2012-06-11]. Dostupné z: <http://amapro.cz/public/ele/filtry.php>
- [11] Jednoduché pásmové propusti: Elektronika a počítače. *Jednoduché pásmové propusti* [online]. 2008 [cit. 2012-06-11]. Dostupné z: <http://www.barts.cz/index.php/elektronika/obvody/7-pasmovepropusti>

- [12] *Řízení mikrokontroléry ATMEL* [online]. České Budějovice, 2009 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: http://theses.cz/id/ltlzsv/downloadPrace-Content_adipIdno_13902. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- [13] *MIKROPROCESORY A MIKROPOČÍTAČE*. 2004: BEN, 2004. ISBN 80-7300-110-1.
- [14] Obvody watchdog a obvody hlídající napájení mikroprocesoru: Watchdog. *Obvody watchdog a obvody hlídající napájení mikroprocesoru* [online]. 2002 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/fuksam/povidani/watchdog.htm>
- [15] Paměti ROM a RAM: Druhy paměti. *Paměti ROM a RAM* [online]. 2010 [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: http://www.pf.jcu.cz/stru/katedry/fyzika/prof/Tesar/diplomky/pruvodce_hw/komponenty/zakladni/pamet/rom-ram.htm
- [16] Bezdrátová komunikace s využitím modulu XTR-434L. *Bezdrátová komunikace s využitím modulu XTR-434L*. 2008.

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1: Základní komunikační sestava [7].....	11
Obr. 2: Obousměrný simplexní provoz [7].....	12
Obr. 3: Duplexní a poloduplexní provoz [7].....	12
Obr. 4: Modul XTR-434L [1]	14
Obr. 5: Časové znázornění příjmu dat	16
Obr. 6: Časové znázornění příjmu dat	16
Obr. 7: Blokové schéma a popis vývodů modulu XTR-434L [1]	17
Obr. 8: Frekvenční charakteristika dolní propusti [10].....	20
Obr. 9: Dolní propust 1. řádu s C [11]	20
Obr. 10: Dolní propust 1 řádu s L [11]	20
Obr. 11: Dolní propust 2. řádu s C [11]	21
Obr. 12: Dolní propust 2 řádu s L [11]	21
Obr. 13: Frekvenční charakteristika horní propusti [10]	21
Obr. 14: Horní propust 1. řádu s C [11].....	22
Obr. 15: Horní propust 1 řádu s L [11]	22
Obr. 16: Horní propust 2. řádu s C [11].....	22
Obr. 17: Horní propust 2 řádu s L [11]	22
Obr. 18: Frekvenční charakteristika pásmové propusti [10].....	23
Obr. 19: Schéma frekvenční pásmové propusti [11]	23
Obr. 20: Frekvenční charakteristika pásmové propusti.[10].....	24
Obr. 21: Schéma frekvenční pásmové propusti [11]	24
Obr. 22: Princip frekvenční modulace (FM) [6].....	25
Obr. 23: Frekvenční spektrum [6].....	26
Obr. 24: Výřez části desky plošného spoje [1]	29
Obr. 25: Blokové schéma mikroprocesoru AT89C51RE2 [2].....	30
Obr. 26: Pouzdra mikropočítače s popisem vývodů [2]	31
Obr. 27: Neplatná data (šum) [16]	36
Obr. 28: Přijatá neplatná data a originálně vysílaná data na straně vysílače [16]	36
Obr. 29: Zobrazení šumu, hlavičky a platných dat [16]	37
Tab. 1: Vstupní hodnoty napětí a proudů [1].....	18
Tab. 2: Režim přijímání dat [1]	18
Tab. 3: Režim vysílání dat [1]	18
Tab. 4: Režimy obvodu a jejich nastavení [1]	19

Seznam příloh

Schéma obvodu pro připojení modulu

