

***Studentská tvůrčí a odborná činnost***  
***STOČ 2017***

**Software Defined Radio**

**Tomáš DUBINA**

Střední škola informatiky, elektrotechniky a řemesel  
Rožnov pod Radhoštěm  
Školní 1610  
756 61 Rožnov pod Radhoštěm

**20. dubna 2017**  
FAI UTB ve Zlíně

**Klíčová slova:** SDR, VHDL, Zynq7010

**Anotace:** Maturitní práce je zaměřena na problematiku vývoje rádiového přijímače technologií SDR. Přijímač je popsán jazykem Verilog HDL a VHDL a programován v jazyce C. Cílem práce je vytvořit přijímač pro příjem signálů AM. K realizaci byl použit výukový kit ZYBO (Zynq BOard) od firmy Digilent. Kit kombinuje hradlové pole a procesor ARM.

## Obsah

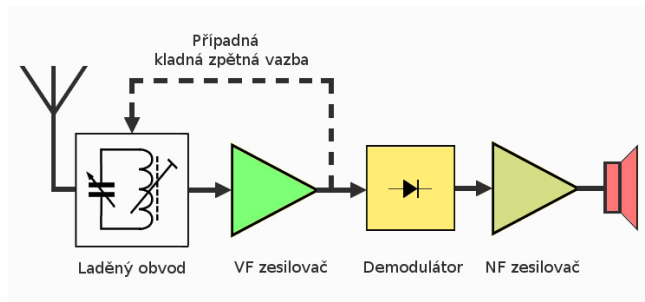
1. Rádiový přijímač.....	4
1.1 Přímozesilující přijímač.....	4
1.2 Nepřímozesilující přijímač.....	4
1.3 Softwarový rádiový přijímač.....	4
2. Součásti rádiového přijímače.....	5
2.1 Přijímací prvky.....	5
2.2 Filtrační prvky.....	5
2.3 Demodulační prvky.....	6
2.4 Typy modulací.....	7
3. Software Defined Radio.....	8
3.1 Analogová část.....	8
3.2 Digitální filtrování.....	9
3.3 Digitální demodulace.....	10
4. Vývojové prostředí Vivado Design Suite a Xilinx SDK.....	11
4.1 Vivado Design Suite.....	11
4.2 Bloky použité v designu.....	12
4.3 Program v jazyce C.....	12
5. Hardware.....	12
5.1 Antialiasingový filtr.....	12
5.2 Sumátor s OZ.....	12
5.3 Klávesnice.....	13
5.4 Displej LCD.....	13
5.5 Zesilovač signálu.....	13
5.6 Digilent ZYBO.....	13
6. Literatura.....	14
7. Seznam použitých symbolů a zkratk.....	15

## 1. Rádiový přijímač

Rádiový přijímač je elektronické zařízení sloužící k příjmu vysokofrekvenčních signálů (rádiových vln), které převádí na námi požadované informace (obraz, zvuk, data). Každý rádiový přijímač (analogový) se skládá ze čtyř základních prvků: anténa, laděný obvod, demodulátor, NF zesilovač. Rozlišujeme několik typů přijímačů mezi ně patří tyto základní typy: přímozesilující, nepřím��esilující a nově i softwarové.

### 1.1 Přímozesilující přijímač

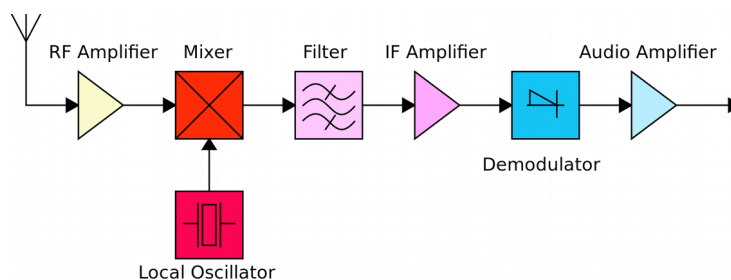
Patří mezi nejjednodušší rádiové přijímače. V počátcích radiotechniky se používali právě tyto zařízení. Zpracovávají VF signál přímo bez jakéhokoliv směšování. Obvod pracuje na frekvenci, kterou přijímá. Jejich stavba je jednoduchá a levná. Vlastnosti jsou: malá citlivost celého zařízení (příjem pouze silných stanic, pokud není za anténu řazen VF zesilovač), malá selektivita a přeladitelnost (vlastnosti určuje ladící LC člen). Do této kategorie spadá i krystalka nebo jednoduché stavebnice s minimem součástek.



Obr. 1: Přímozesilující přijímač [1]

### 1.2 Nepřím��esilující přijímač

Nepřím��esilující přijímač neboli superheterodym (zkráceně superhet) je typ přijímače, který přijímanému signálu před demodulací snižuje frekvenci na tzv. mezifrekvenční kmitočet. Tento kmitočet je konstantní a všechny části přijímače pracují na této frekvenci. Zpracování tohoto upraveného signálu je jednodušší a celý přijímač lze lépe miniaturizovat. Tato frekvence se liší podle typu přístroje a modulace. MF kmitočet v rádiovém přijímači (přenosné rádio, autorádio atd.) je 455 kHz pro AM a 10.7 MHz pro FM modulaci. V televizi je to obvykle 38.9 MHz.

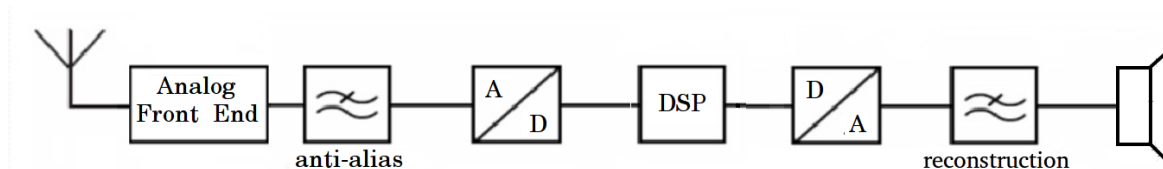


Obr. 2: Přijímač se směšováním [2]

### 1.3 Softwarový rádiový přijímač

Je to nejmodernější typ přijímače. Hardwarová část je jednoduchá a obsahuje minimum potřebných součástek. Analogový signál z antény je digitalizován na rychlých ADC

a dále zpracováván digitálně za použití procesoru (CPU) nebo hradlového pole (FPGA, ASIC). V digitální podobě se provádí ladění, demodulace a další úkony a demodulovaný signál je přiveden na zvukový výstup nebo získaná data jsou dále zpracovávána a ukládána. Vnitřní uspořádání přijímače je různorodé a neobsahuje vždy úplně stejnou koncepci.



Obr. 3: Zjednodušené schéma SDR přijímače [3]

## 2. Součásti rádiového přijímače

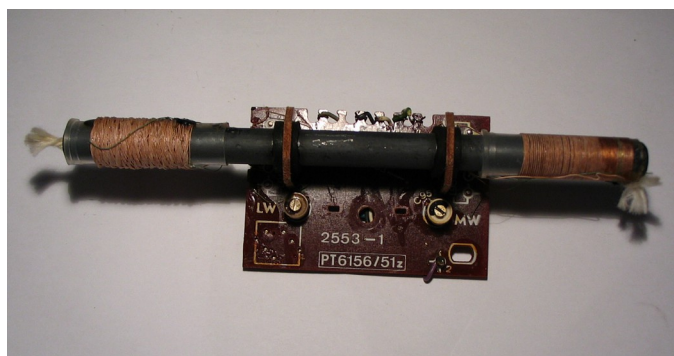
### 2.1 Přijímací prvky

Mezi nejdůležitější součásti rádiového přijímače patří anténa. Tato na první pohled jednoduchá věc určuje hlavně zisk, citlivost, směrovost a nebo i selektivitu celého zařízení. Používají se k příjmu i k vysílání. Existuje mnoho různých antén pro různé typy rádiových vln a zařízení. Přijímací anténa slouží k přeměně elektromagnetické energie na energii elektrickou. Tato energie je vysokofrekvenčním vedením svedena do přijímače.

Mezi základní parametry antén patří:

- Zisk (dB)
- Impedance (Z)
- Směrovost
- Činitel zpětného příjmu
- Šířka přenášeného pásma
- Polarizace
- Vyzařovací úhel

Tab1. Vlastnosti antén



Obr. 4: Feritová anténa pro příjem dlouhých a středních vln  
145 kHz – 1680 kHz [4]

### 2.2 Filtrační prvky

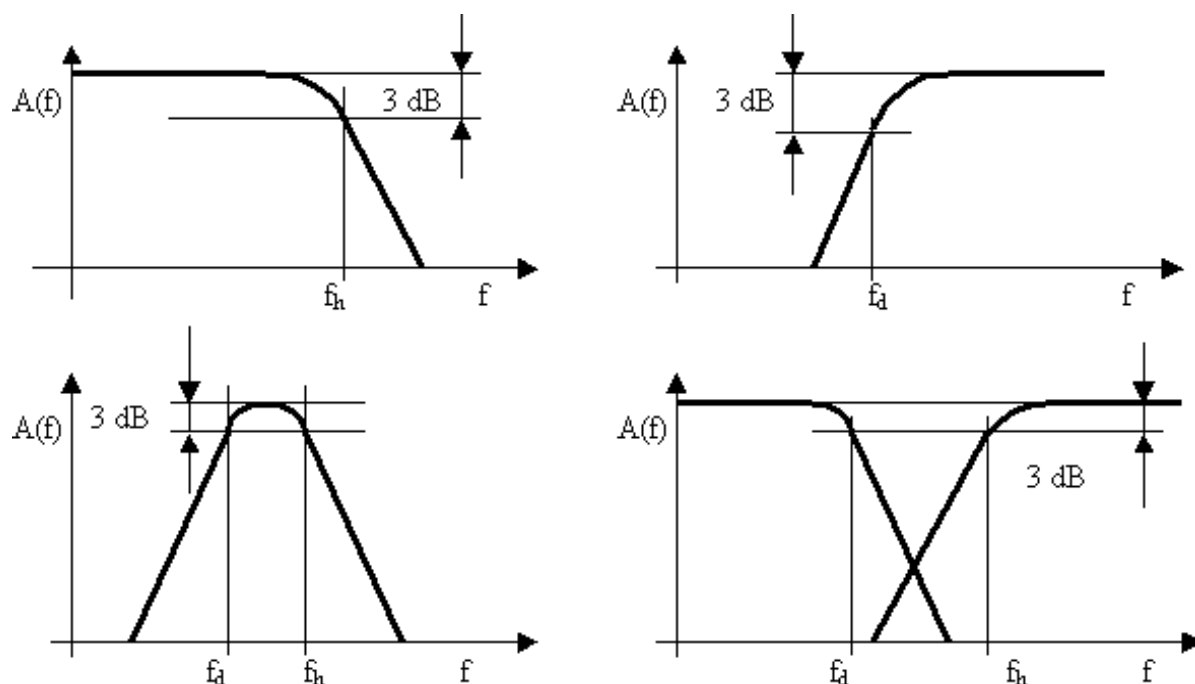
Protože přijímací část (anténa) zachycuje všechny signály, které je schopna zachytit a my většinou nepotřebujeme zpracovat vše co anténa přijímá, musíme vstupní signál filtrovat. Existuje několik základních typů filtrů. Je to dolní propust, horní propust, pásmová propust a pásmová zádrž. Každý z filtrů má řád a mezní kmitočet. Řád filtru určuje jak velká je přechodová oblast mezi propustným a nepropustným pásmem. Mezní kmitočet je frekvence kdy přenos klesne o 3 db a začíná se výrazně měnit propustnost filtru.

Dolní propust propouští pouze signály s nižší frekvencí než je mezní kmitočet filtru a to včetně stejnosměrné složky. Jedná se o nejrozšířenější typ filtru díky ADC a DAC převodníkům.

Horní propust přenáší frekvence vyšší než je mezní kmitočet filtru. Používá se k odstranění brumu ve vysokofrekvenčních obvodech.

Pásmová propust je typ filtru jenž může vzniknout kombinací dolní a horní propusti. Propouští pouze omezené frekvenční pásmo, dolní a horní kmitočty potlačuje. Používá se jako ladící člen v rádiových obvodech. Disponuje dvěma kmitočty a to dolním mezním kmitočtem od kterého začíná propouštět a horním mezním kmitočtem kde propouštět přestává. Mezi těmito dvěma frekvencemi je propustné pásmo. Tohle pásmo má určitou šířku (propustné pásmo) a strmost (řád filtru, selektivita). Filtr bude propouštět pouze ty frekvence, které budeme chtít demodulovat.

Pásmová zádrž je opakem pásmové propusti. Propouští všechny frekvence, kromě těch nacházejících mezi dvěma mezními kmitočty.



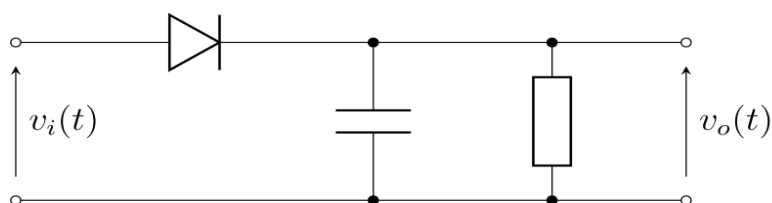
Obr. 5: Dolní, horní propust a pásmová propust, zádrž [5]

### 2.3 Demodulační prvky

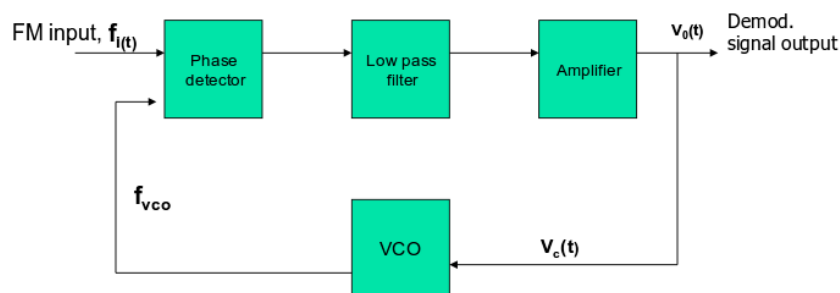
Vyfiltrovaný signál nyní lze demodulovat. Analogový rozhlas používá modulaci AM na dlouhých až krátkých vlnách. Nejjednodušším zařízením pro demodulaci AM je diodový detektor. Skládá se z diody a filtru. Dioda usměrňuje VF signál a filtr odfiltrovává VF složku a na jeho výstupu je NF signál. Pokročilejším zařízením pro demodulaci AM jsou koherentní (synchronní, homodynní) demodulátory.

Demodulovat FM signál je složitější. Můžeme jej převést na amplitudovou modulaci a následně ji demodulovat jako AM. Tomuto zařízení se říká sklonový detektor. Převedená

frekvence na amplitudu není vždy, ale lineární, a proto se v praxi příliš nepoužívá. Nejčastějším způsobem demodulace je za pomoci PLL. Demodulátor obsahuje detektor fází jenž porovnává fázi vstupního signálu s demodulovaným signálem a VCO. Fázový detektor doladuje oscilátor podle změny velikosti fáze vstupního a výstupního signálu, tak aby frekvence vstupního signálu a oscilátoru byla stejná (fáze signálu se nemění). Velikost změny frekvence VCO je původní informace získána ze signálu. Demodulátory s využitím PLL mají vysokou dynamiku a jsou vhodné pro monolitickou integraci. Obvody typu PLL vyžadují mikroprocesorové řízení, které ale není výraznou překážkou.



Obr. 6: Diodový detektor [6]



Obr. 7: PLL smyčka pro demodulaci FM [7]

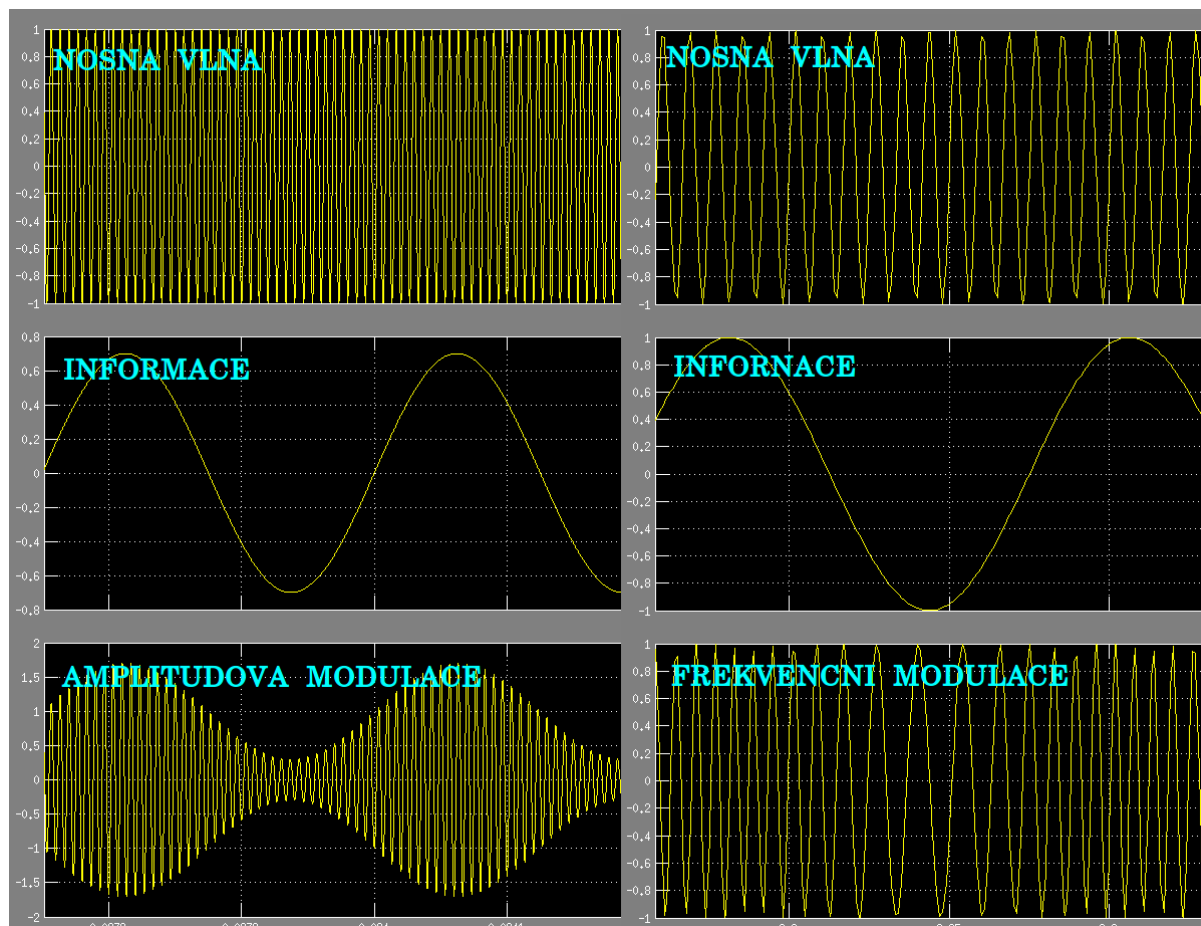
## 2.4 Typy modulací

Modulace je změna nosného signálu pomocí modulovaného signálu. Nosná vlna se mění v rytmu signálu, který chceme modulovat. Existuje mnoho způsobů modulace signálu. Mezi analogové modulace patří AM, FM a PM. Další používané modulace jsou již digitální a existuje jich podstatně více (FSK, QAM, QPSK atd.).

Informace v AM modulaci je skryta v okamžité amplitudě nosného kmitočtu. Fáze ani frekvence signálu se nemění. Patří mezi jednoduché a nejdéle používané modulace. Obsahuje nosnou vlnu a dvě postranní pásma (jedno součtové a druhé rozdílové). Protože nosná nese informaci a obě postranní pásma jsou stejná, zavádí se modulace s potlačenou nosnou a pouze s jedním postranním pásmem. Vzniká tak modulace SSB. Podle toho, které postranní pásmo je použito rozlišujeme SSB dále na LSB (dolní pásmo) a USB (horní pásmo). Pro rozhlas se používá šířka kanálu 9 kHz (maximální frekvence zvuku je 4.5 kHz). SSB modulaci používají hlavně zařízení u kterých požadujeme co největší účinnost a dosah (vysílačky), hodně je rozšířena mezi radioamatéry.

Informace v FM modulaci je skryta v aktuální frekvenci nosného kmitočtu. Čím větší je amplituda vstupního signálu tím větší frekvenční výchylka nosné vlny. Amplituda ani fáze signálu se nemění. Rozdíl mezi maximálním a minimálním kmitočtem nosné vlny, nazýváme frekvenční zdvih, polovinu této hodnoty frekvenční odchylka. Čím větší bude frekvenční zdvih, tím se bude průběh nosné vlny více odchylovat od harmonického průběhu. Maximální

frekvenční zdvih je třeba předepsat, abychom mohli vysílači přidělit konstantní šířku pásma. Frekvenční zdvih FM rozhlasu je 150 kHz a zvukový doprovod u analogové televize má zdvih 50 kHz. Zabraná šířka pásma je stejná jako u AM modulační, ale FM modulační má lepší odstup signálu od šumu (SNR).



Obr. 8: AM a FM modulační

### 3. Software Defined Radio

#### 3.1 Analogová část

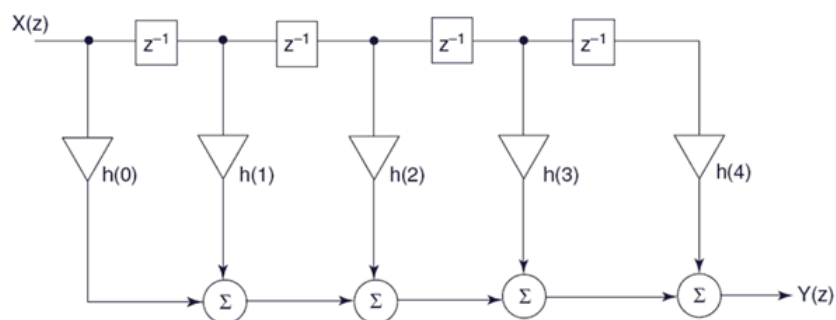
Pro zpracování signálu vyžaduje rychlé obvody (FPGA, ASIC, CPU) a též rychlý ADC. Na vstupech a výstupech jsou AD a DA převodníky. Před vstupním převodníkem je umístěn tzv. anti-aliasingový filtr, obvykle konstruován jako dolní propust (případně pásmová propust). Mezní kmitočet filtru je maximálně  $\frac{1}{2}$  vzorkovací frekvence dle Shannon-Nyquist-Kotělnikův teorému. Tento filtr odstraňuje kmitočty, které není AD převodník schopen navzorkovat. Pokud tento filtr není umístěn a vstupní signál obsahuje frekvence, které není ADC schopno vzorkovat, vznikne aliasing. Vzorkovaný signál začne obsahovat frekvence, které původní signál před zpracováním neobsahoval a digitální signál je zkreslený a nepoužitelný. Když je signál převeden, následuje jeho zpracování v DSP. Výstupem z DSP může být například zvukový výstup nebo digitální data jsou dále zpracovávána v PC nebo ukládána. Digitální signál je na DAC převeden zpět na analogový. Za převodníkem následuje rekonstrukční filtr jenž pomáhá obnovit analogový signál. Mezní kmitočet filtru je též  $\frac{1}{2}$  vzorkovací frekvence převodníku. Výsledkem je převedený a obnovený slyšitelný zvuk.



### 3.2 Digitální filtrování

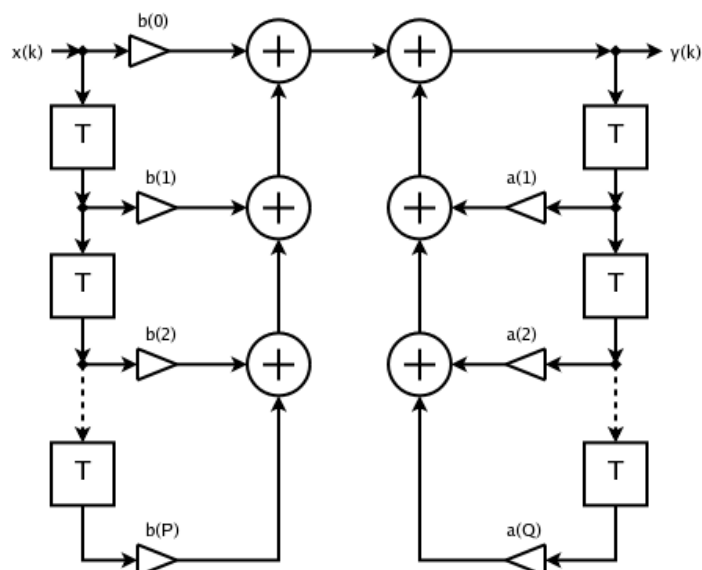
Digitální filtrování lze provádět pomocí algoritmických a aritmetických operací. Lze je provádět na CPU nebo v FPGA. Pro filtraci signálu v digitální formě používáme filtry FIR a IIR. Digitální (číslicový) filtr má řadu výhod oproti analogovým. Disponuje větší přesností, stabilitou, jsou univerzálnější.

Filtr FIR (finite impulse response), filtr s konečnou impulzní odezvou je plně číslicový filtr, který nemá v analogové technice ekvivalent. Filtruje plně digitální signál v podobě posloupných vzorků. FIR filtr se skládá ze tří základních prvků: zpožďovací linka (paměť), sčítačka a násobička. Filtr má konečný počet nenulových výstupních hodnot po vybuzení filtru jednotkovým impulsem. Mezi základní vlastnosti patří: filtr je vždy stabilní (nemá zpětnou vazbu, nehrozí rozkmitání), má jednoduchou strukturu, malý jev parazitních parametrů, vyžaduje velký řád (mnoho koeficientů, rozsáhlá struktura), má velkou výpočetní časovou náročnost, zpoždění filtru se odvíjí od řádu filtru (velké zpoždění).



Obr. 9: Přímá forma FIR filtru [8]

Filtr IIR (infinite impulse response), filtr s nekonečnou impulzní odezvou je plně číslicový filtr, který má v analogové technice ekvivalent. Filtr vyžaduje minimálně jednu zpětnovazební smyčku. Filtr má nekonečný počet nenulových výstupních hodnot po vybuzení filtru jednotkovým impulsem. Mezi základní vlastnosti patří: u filtru není vždy zaručena stabilita (zpětná vazba), má složitější návrh, vyžaduje nižší řád než FIR filtr, nižší výpočetní složitost, nelineární fáze, citlivé na numerickou přesnost. Vhodné pro pomalu měnící se signály.



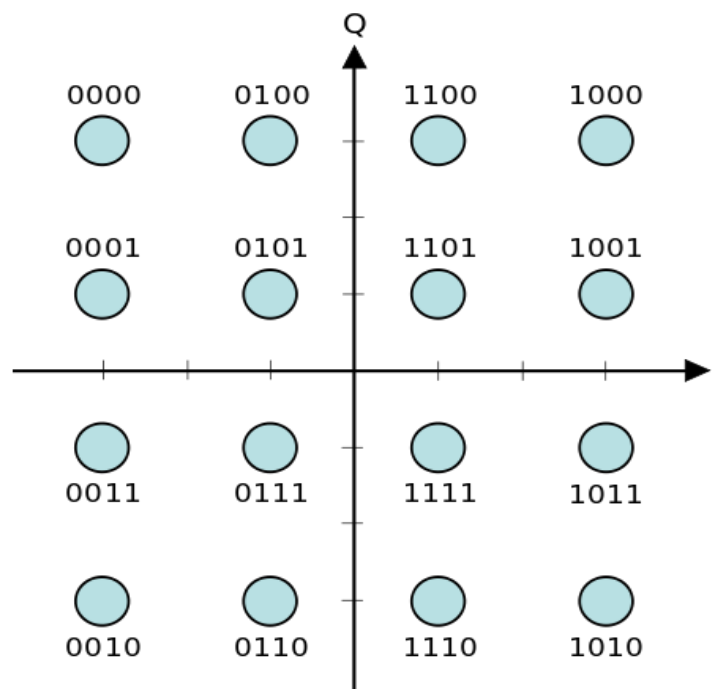
Obr. 10: Přímá forma IIR filtru [8]

### 3.3 Digitální demodulace

Po vyfiltrování nám zůstali pouze frekvence, které požadujeme. Ty nyní můžeme demodulovat. Existuje mnoho způsobů modulace. Mezi nejznámější patří AM a FM. Existují, ale i jiné méně známé, leč více používané. Jsou hlavně digitální modulace QAM, QPSK, GMSK, BPSK, FSK, PSK, OFDM atd. používané pro přenos DVB-T/S/C, Wi-Fi, GSM, DAB, ADSL atd.

Pro demodulaci budeme potřebovat složky I/Q. Je to reálná (in-phase) a imaginární (quadrature) část signálu. Vznikají smícháním signálu z ADC a LO. Míchání se provádí na nulovou mezifrekvenci a obě složky jsou fázově posunuty o 90 stupňů. Jedná se o digitální obdobu analogového RF signálu. Obě obsahují informaci o amplitudě a fázi původního signálu. Podle vhodného výpočtu získáme potřebnou informaci z modulovaného signálu.

Pro zobrazení se používá tzv. konstelační diagram. Na ose x je reálná složka I a na ose y je kvadraturní složka Q. Digitální signál v diagramu „ukazuje“ na jeden z bodů. Každý z těchto bodů představuje několik bitů informace podle způsobu modulace. Od 1 bitu (BPSK) až po 6 bitů (QAM) nebo i více. Tomu odpovídá i počet bodů v diagramu od 2 až po 64. Zobrazujeme jej v tzv. konstelačním diagramu.



Obr. 11: Konstelační diagram modulace 16-QAM [9]

Modulace AM a FM nejsou digitální a pro ně diagram neexistuje (nabývají mnoha hodnot, bodů). AM modulace je absolutní amplituda signálu a FM modulace je frekvence změny fáze signálu. V diagramu je přímo zastoupena pouze amplituda a fáze. Frekvenci získáme derivací fáze.

$$A = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

Amplituda signálu se z I/Q složek vypočítá:

Ze vzorce je vidět, že se jedná o Pythagorovu větu a amplituda má pouze kladnou hodnotu. Tomuto způsobu se říká synchronní AM demodulace a patří mezi nejlepší způsoby demodulace amplitudově modulovaných signálů. Na závěr odstraníme pronikající stejnosměrnou složku horní propustí. Demodulací získáme „obálku“ signálu, tedy naši potřebnou informaci.

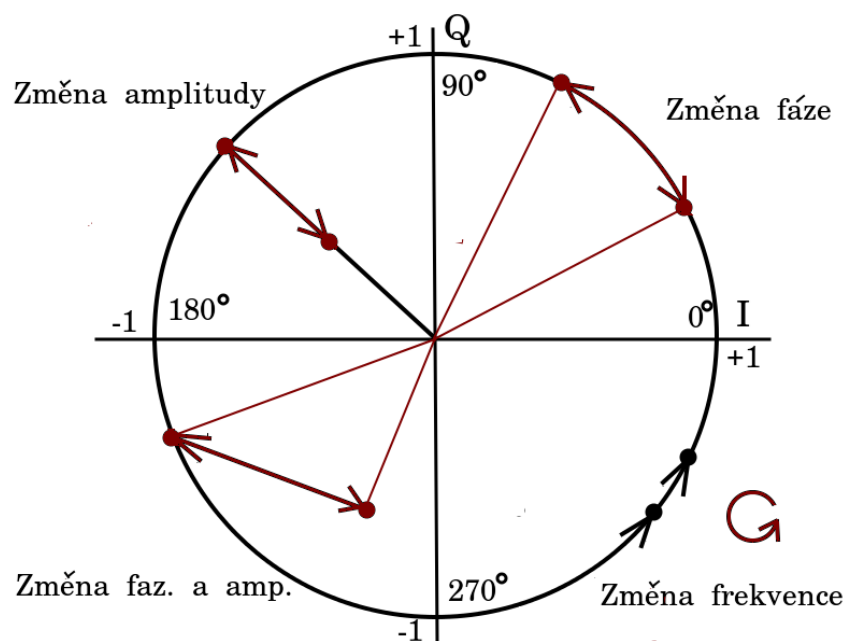
Frekvenci ze vstupního signálu nelze přímo vypočítat, ale můžeme vypočítat fázi (úhel). Aktuální hodnota fáze se vypočítá pomocí funkce  $\arctan$ . Počítat tuto funkci je složité, a někdy se místo ní používá zjednodušená forma, kterou přímo získáme frekvenci:

$$\Omega = \Delta Q - \Delta I$$

Výpočtem funkce  $\arctan$  dostaneme fázi signálu. Ta se vypočte:

$$\Phi = \arctan\left(\frac{Q}{I}\right)$$

Nyní fázi derivujeme a získáme frekvenci. Máme již vypočítanou frekvenci, ale správně se musí ještě odstranit parazitní amplitudová modulace. Frekvenci podělíme amplitudou signálu a máme zpět získanou původní informaci.



Obr. 12: Změny signálu v konstelačním diagramu

#### 4. Vývojové prostředí Vivado Design Suite a Xilinx SDK

Vivado Design Suite slouží k návrhu obvodu ve VHDL a Verilog HDL, k syntéze a analýze HDL designu, simulaci. Je vytvořeno firmou Xilinx.

Xilinx XDK je integrované vývojové prostředí pro vytváření aplikací v jazyce C/C++.

##### 4.1 Vivado Design Suite

Vývoj a návrh logiky ve Vivado probíhá nejčastěji ve formě tzv. IP bloků. IP blok (komponenta) je kus kódu ve VHDL nebo Verilog. Umisťuje se do blokového designu. IP

blok je propojen s ostatními bloky v designu nebo spojen se vstupními a výstupními piny. Po propojení a nastavení bloků se vytvoří hlavní soubor jenž v sobě mapuje všechny bloky a piny.

Každý blok koná určitou funkci, může být jednoduchá nebo složitá. Bloky lze konfigurovat pomocí proměnných. Složitější struktury se nastavují pomocí dialogů se záložkami, textovými poli, zaškrtačací políčka, přepínače, rolovací nabídky. Složitější struktury se skládají z jednodušších částí.

## 4.2 Bloky použité v designu

XADC – AD převodník, rozlišení 12 bitů, rychlost 1 MSPS, napětí od 0 až 1 volt

DDS – Místní oscilátor

CORDIC – Demodulace AM signálu, převod kartézských na polární souřadnice

FIR – Filtr mezifrekvence 40 kHz, pásmová propust 9 kHz

CIC – Decimační filtr pro audio

AUDIO – Odeslání zvuku do audio kodeku

Design obsahuje mnohem více bloků. Jsou to základní bloky, které se objevují v každém projektu. Jsou to Zynq7 processing system, AXI GPIO, slice, concat, AXI interconnect atd.

## 4.3 Program v jazyce C

Jednoduchý program pro obsluhu maticové klávesnice, obsluhu 20x2 znakového LCD displeje. Nastavuje audio čip přes I<sup>2</sup>C.

Klávesnice má 4x5 kláves (20 + 2 propojené). Obsahuje číselné hodnoty 0 až 9 (plus tečku a znaménko) a 10 funkčních kláves.

Skládá se z hlavní smyčky, která kontroluje klávesnici. Po stisku klávesy se provedou potřebné funkce a aktualizuje se obsah na LCD.

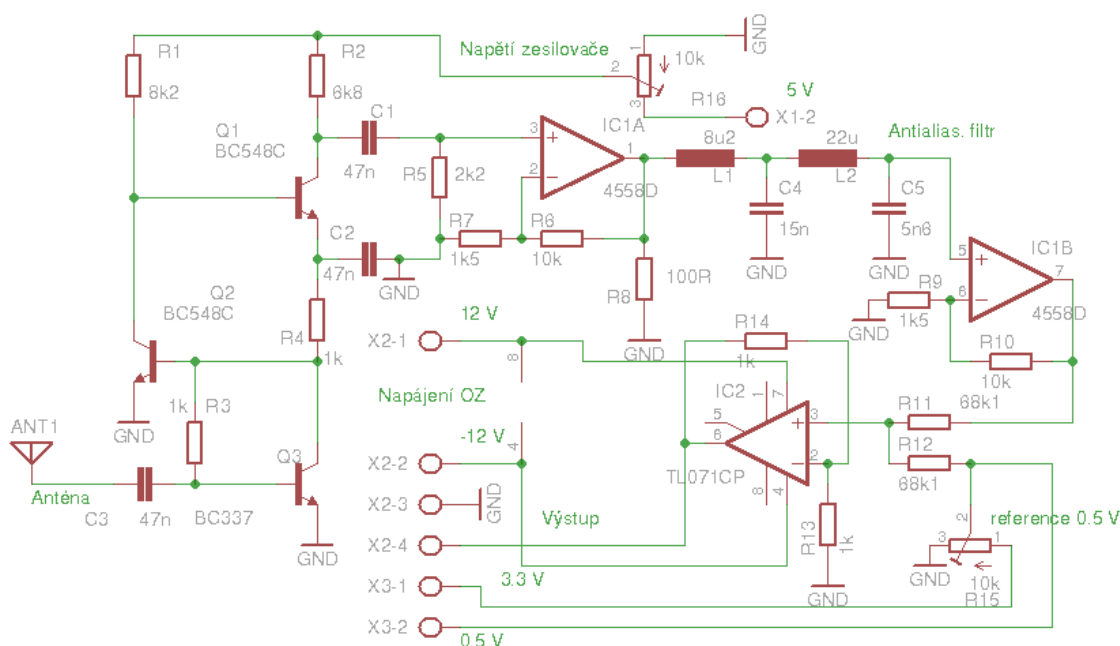
## 5. Hardware

### 5.1 Antialiasingový filtr

Vývojový kit neobsahuje z výroby antialiasingový filtr před XADC převodníkem. Ten se musí nejdříve vyrobit. Vzhledem k vzorkovací frekvenci převodníku, která je 1 MSPS je maximální přípustná frekvence vstupního signálu podle Shannon-Nyquist-Kotělnikova teorému je 500 kHz. Vyšší frekvenci musí filtr odfiltrovat. Filtr je realizován jako LC dolní propust druhého řádu s mezní frekvencí 453 kHz.

### 5.2 Sumátor s OZ

Protože XADC nedokáže zpracovat záporné napětí, musí se napětí zvýšit offsetem o 0.5 V. Zvýšení je provedeno pomocí OZ zapojeného jako sumátor. OZ má na vstup přivedeno napětí 0.5 V nastaveno víceotáčkovým trimrem a střídavý signál, obě napětí jsou sečtena. Na výstupu OZ je napětí v rozsahu 0 až 1 V, pokud má na vstupu  $\pm 0.5V$ . OZ je napájeno symetricky napětím  $\pm 12V$ .



Obr. 13: Schéma zesilovače

### 5.3 Klávesnice

Klávesnice má 22 kláves. Z toho dvě jsou spojeny. K celkové obsluze je třeba zapojit 9 vodičů. Připojena je na dva Pmod konektory.

### 5.4 Displej LCD

Displej 20x2 znaků je připojen pomocí 6 vodičů. Komunikace probíhá po čtyř bitech plus dva řídicí. Napájen je 5 V zdrojem. Podsvětlení je zapojeno též. Protože kit má 3.3 V logiku, musí být mezi zařízeními zařazeny logické převodníky z 3.3 na 5 V. Připojen je na dva Pmod konektory.

### 5.5 Zesilovač signálu

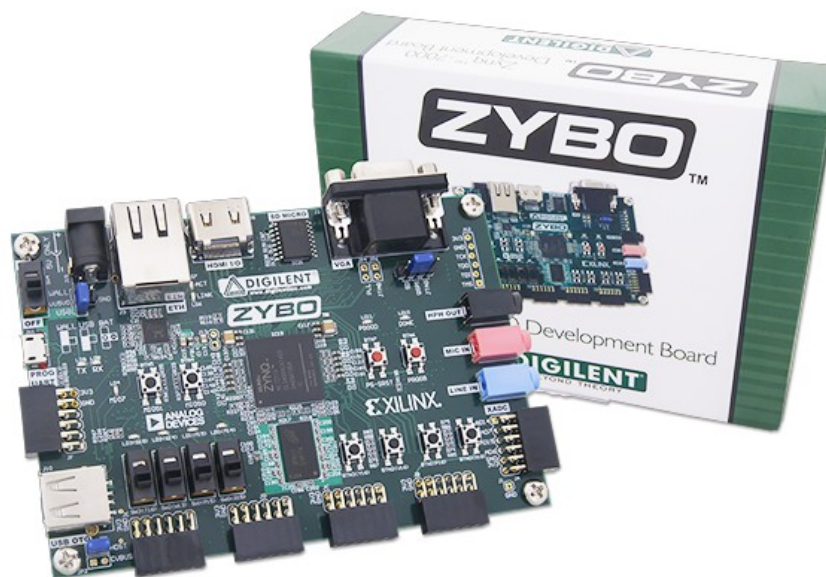
Skládá se ze tří zesilovačů. První zesiluje signál z antény. Zisk je asi 60 až 80 db a je regulovatelný změnou napájecího napětí. Za ním následuje druhý stupeň s OZ se ziskem 18 db. Za OZ je zapojen antialiasingový LC filtr. Kvůli oddělení a zesílení je za filtrem zapojen druhý stejný stupeň s OZ se ziskem 18 db. Signál je veden do sumátoru s OZ a následně přiveden na XADC. OZ jsou napájeny symetricky napětím  $\pm 12$  V a vysoce ziskový zesilovač je napájen nesymetrickým napětím od 2 do 5 V podle zesílení.

### 5.6 Digilent ZYBO

Zařízením na, kterém probíhal vývoj je výukový kit ZYBO od firmy Digilent. Na rozdíl od jiných kitů, které obsahují pouze FPGA, tento kombinuje výhody hradlového pole i procesoru na jedné desce. Základem je FPGA s CPU založené na čipech řady Zynq-7000. Kombinuje dvoujádrový procesor ARM Cortex-A9 s hradlovým polem ekvivalentnímu řadě Artix-7. V základu je kit vybaven 6 tlačítky, 4 přepínači a 5 LED, které lze přímo kitem ovládat, bez připojování externího zařízení. Pro rozšíření kitu je k dispozici 6 rychlých Pmod konektorů.

Maximální pracovní frekvence procesoru je až 667 MHz. K dispozici je 512 MB RAM DDR3. K uložení programu a případně celého OS je k dispozici 128 MB QSPI flash.

FPGA disponuje 26400 LUT a 35200 FF. Pro data je k dispozici 240 kb rychlé BRAM paměti. Maximální pracovní frekvence pole je až 450 MHz. K získání libovolného hodinové kmitočtu existují 2 MMCM nebo PLL smyčky.



Obr. 14: Vývojový kit ZYBO [10]

## 6. Literatura

[1] Internet, Přijímač s přímým zesílením [online], cit [2017-02-21]

Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Přijímač\\_s\\_přímým\\_zesílením](https://cs.wikipedia.org/wiki/Přijímač_s_přímým_zesílením)

[2] Internet, Супергетеродинний радіоприймач [online], cit [2017-02-21]

Dostupné z: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Супергетеродинний\\_радіоприймач](https://uk.wikipedia.org/wiki/Супергетеродинний_радіоприймач)

[3] Internet, Abhinav End Sem Presentation Software Defined Radio [online], cit [2017-02-21]

Dostupné z: <https://www.slideshare.net/guestad4734/abhinav-end-sem-presentation-software-defined-radio-presentation>

[4] Internet, Loop antenna [online], cit [2017-02-21]

Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Loop\\_antenna](https://en.wikipedia.org/wiki/Loop_antenna)

[5] Internet, Filtrace signálu [online], cit [2017-02-21]

Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/daq/Ka05-04.htm>

[6] Internet, Envelope detector [online], cit [2017-02-21]

Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Envelope\\_detector](https://en.wikipedia.org/wiki/Envelope_detector)

[7] Internet, Angle modulation [online], cit [2017-02-21]

Dostupné z: <http://slideplayer.com/slide/8936720/>

[8] Internet, Realizace filtrů FIR a IIR v programovacím jazyce C# [online], cit [2017-02-21]  
Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2010050400-realizace-filtru-fir-a-iir-v-programovacim-jazyce-c/>

[9] Internet, Konstelační\_diagram [online], cit [2017-02-21]  
Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Konstelační\\_diagram](https://cs.wikipedia.org/wiki/Konstelační_diagram)

[10] Internet, Zybo Zynq-7000 ARM/FPGA SoC Trainer Board [online], cit [2017-02-21]  
Dostupné z: <http://store.digilentinc.com/zybo-zynq-7000-arm-fpga-soc-trainer-board/>

## 7. Seznam použitých symbolů a zkratk

ADC	Analog to Digital Converter, Analogově digitální převodník
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line, Přenos dat po telefonní lince
AM	Amplitude Modulation, Amplitudová modulace
ARM	Advanced RISC Machine, Pokročilý riscový stroj
ASIC	Application Specific Integrated Circuit, Zákaznický integrovaný obvod
BPSK	Binary Phase Shift Keying, Binární klíčování fázovým posuvem
CIC	Cascaded Integrator Comb, Kaskádový hřebenový filtr
CORDIC	COordinate ROTation DIGital Computer, jednoduchý algoritmus pro výpočet goniometrických funkcí
CPU	Central Processing Unit, Centrální procesorová jednotka
DAB	Digital Audio Broadcasting, Digitální rozhlasové vysílání
DAC	Digital to Analog Converter, Digitálně analogový převodník
DSP	Digital Signal Processing, Digitální zpracování signálu
DVB-C	Digital Video Broadcasting – Cable, Kabelové digitální vysílání
DVB-S	Digital Video Broadcasting – Satellite, Satelitní digitální vysílání
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial, Pozemní digitální vysílání
FF	Flip Flop, Klopný obvod
FM	Frequency Modulation, Frekvenční modulace
FPGA	Field Programmable Gate Array, Programovatelná hradlová pole
FSK	Frequency Shift Keying, Klíčování frekvenčním posuvem
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying, Klíčování minimálním Gaussovým frekvenčním posuvem
GSM	Groupe Spécial Mobile, Globální systém pro mobilní komunikaci
IC, IO	Integrated Circuit, Integrovaný obvod
IP	Intellectual Property, Kus HDL kódu v tzv. bloku (jádro)
LCD	Liquid Crystal Display, Displej z tekutých krystalů
LO	Local Oscilator, Místní oscilátor
LSB	Lower Side Band, Dolní postranní pásmo
LUT	Look Up Table, Vyhledávací tabulka
MMCM	Mixed Mode Clock Manager, Správce smíšených hodinových signálů
MSPS	Mega Sample Per Second, Milion vzorků za sekundu
NF	Nízkofrekvenční
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Ortogonální multiplex s frekvenčním dělením
OS	Operating System, Operační systém
OZ	Operační zesilovač
QAM	Quadrature Amplitude Modulation, Kvadrurní amplitudová modulace

QPSK	Quadrature Phase Shift Keying, Kvadrurní klíčování fázovým posuvem
PLL	Phase Locked Loop, Smyčka s fázovým závěsem
PM	Phase Modulation, Fázová modulace
PSK	Phase Shift Keying, Klíčování fázovým posuvem
RF	Radio Frequency, Rádiová frekvence
SDK	Software Development Kit, Sada vývojových nástrojů
SDR	Software Defined Radio, Softwarový rádiový přijímač
SNR	Signal to Noise Ratio, Odstup signálu od šumu
SSB	Single Side Band, Jedno postranní pásmo
USB	Upper Side Band, Horní postranní pásmo
VCO	Voltage controlled oscillator, Napětím řízený oscilátor
VF	Vysokofrekvenční
VHDL	VHSIC Hardware Description Language, Jazyk pro popis hardware
VHSIC	Very High Speed Integrated Circuit, Velmi rychlé integrované obvody
Wi-Fi	Wireless network, bezdrátová síť

---