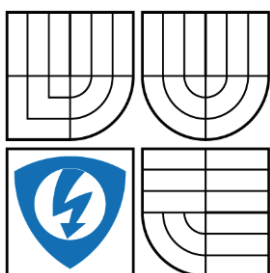


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

# DIGITÁLNÍ AUDIOŘETĚZEC S BEZDRÁTOVOU KOMUNIKACÍ

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Streit

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

BRNO 2012

zadání Semestrální práce – vloží se na tuto pozici

## **Anotace**

Práce popisuje zařízení pro obousměrný bezdrátový přenos digitalizované hlasové informace. Pomocí audio kodeku je řešena vstupně výstupní analogová část. Komprimace navzorkovaného signálu probíhá softwarově pomocí kodeku Speex na mikroprocesoru ARM. Bezdrátovou komunikaci zajišťuje RF modul pracující v ISM pásmu.

## **Klíčová slova**

Digitální komprese audio signálu; bezdrátová komunikace

## **Annotation**

This document describes device for full-duplex wireless voice communication. Analogue input output part is based on audio codec. Digital compression is made by Speex codec on ARM microprocessor. Wireless communication is solved by RF module working in ISM band.

## **Key words**

Digital compression of audio signal; wireless communication

# Obsah

Seznam obrázků.....	6
Seznam tabulek.....	6
1 Úvod.....	7
2 Dostupná řešení.....	8
2.1 PMR446 .....	8
2.2 CB .....	9
3 Dostupné technologie .....	11
3.1 Komprese dat .....	11
3.2 Bezdrátová komunikace .....	13
4 řešení.....	14
4.1 Mikroprocesor .....	14
4.2 Audio kodek .....	15
4.3 RF modul.....	17
4.4 DPS .....	19
5 Závěr .....	21
Citovaná literatura.....	22
Seznam příloh .....	25

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Srovnání kodeků podle kvality a datového toku [6] .....	13
Obrázek 2 - Blokové schéma procesoru [22] .....	15
Obrázek 3 - Blokové schéma audio kodeku [24] .....	17
Obrázek 4 - Stručné schéma RF modulu [25] .....	19

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Frekvence PMR kanálů [1] .....	8
Tabulka 2 – Frekvence dPRM kanálů [1] .....	9
Tabulka 3 - Frekvence CB kanálů [4] .....	10
Tabulka 4 - Srovnání vybraných audiokodeků .....	12

# 1 ÚVOD

Hodně lidských aktivit, ať už se jedná o činnost pracovní, nebo pro zábavu, vyžaduje kooperaci více lidí. Pro její správnou funkci je nutné, aby tito lidé mohli mezi sebou navzájem komunikovat, pokud možno v reálném čase. Probíhá-li daná činnost na větším území, případně ve velmi členitém prostoru, například v budově, je přímá hlasová komunikace prakticky vyloučena. V tomto případě nám musí pomoci technika.

Spousta těchto aktivit navíc vyžaduje značnou mobilitu zúčastněných, z čehož vyplývá požadavek na komunikaci bezdrátovou. Další požadavkem je navíc často obousměrná komunikace bez nutnosti obsluhy používaného technického vybavení. Ne vždy má prostě člověk volnou ruku, aby mohl stiskem tlačítka přepnout z příjmu na vysílání.

V současné době jsou běžně dostupné dva druhy těchto zařízení, z nichž ani jeden plně nevyhovuje výše zmíněným požadavkům. Prvním typem jsou běžné mobilní telefony, které sice umožňují bezproblémovou obousměrnou komunikaci, ale jejich používání je zpoplatněno. Druhým typem jsou hobby vysílačky, jejichž používání je zdarma, ale valná většina jich neumožňuje obousměrnou komunikaci bez přepínání směru.

Cílem této práce je tedy navrhnout a postavit malé přenosné bezdrátové komunikační zařízení, umožňující obousměrnou hlasovou komunikaci (případně komunikaci mezi více jak dvěma uzly), bez nutnosti obsluhy za provozu.

## 2 DOSTUPNÁ ŘEŠENÍ

### 2.1 PMR446

Zkratka PMR znamená *Personal Mobile Radio* [1] – v překladu osobní mobilní vysílačka. Číslo 446 pak znamená, že systém pracuje na frekvenci 446 MHz.

Jedná se o velmi rozšířený, komerčně dostupný systém. Pořizovací cena u nejlevnějších modelů je v řádech stokorun. Jeho značnou nevýhodou je ovšem potřeba přepínání směru komunikace. Normálně je vysílačka v režimu příjmu, pro vysílání je většinou třeba po celou jeho dobu držet zmáčkнутé vysílací tlačítko.

Maximální povolený vysílací výkon je 500 mW [1]. To postačuje pro komunikaci na vzdálenost řádově kilometrů ve volném terénu, případně až desítek kilometrů při přímé viditelnosti. Kvůli vlnové délce kolem 67 cm je ale systém v členitém terénu, například ve městě, silně závislý na odrazech signálu. V takto komplikovaných podmínkách pak dosažitelná vzdálenost pouze na stovky metrů.

V současné době jsou k dispozici dvě verze systému – analogová a digitální (někdy označovaná jako dPRM446). Analogová verze poskytuje 8 kanálů s frekvenční modulací a šířkou 12.5 kHz. Digitální verze pak má k dispozici 16 kanálů s rozestupem 6.25 kHz. Používá čtyřstavovou FSK<sup>1</sup> modulaci a umožňuje datový tok 3.6 kbps [1].

Tabulka 1 - Frekvence PMR kanálů [1]

PMR kanál	Frekvence [MHz]
1	446.00625
2	446.01875
3	446.03125
4	446.04375
5	446.05625
6	446.06875
7	446.08125
8	446.09375

---

<sup>1</sup> FSK - Frequency-Shift Keying – digitální varianta frekvenční modulace

Tabulka 2 – Frekvence dPRM kanálů [1]

dPRM kanál	Frekvence [MHz]
1	446.103125
2	446.109375
3	446.115625
4	446.121875
5	446.128125
6	446.134375
7	446.140625
8	446.146875
9	446.153125
10	446.159375
11	446.165625
12	446.171875
13	446.178125
14	446.184375
15	446.190625
16	446.196875

Provozování těchto systémů v České republice spadá pod všeobecnou licenci Českého telekomunikačního úřadu [2].

Díky tomu, že systém může používat každý podle vlastních potřeb, může docházet k vzájemnému rušení. Řešení pak závisí pouze na vzájemné dohodě uživatelů.

## 2.2 CB

Zkratka CB znamená *Citizen Band* [3], což se dá přeložit jako občanské pásmo. Jedná se o systém velmi podobný PRM446. Pracuje na frekvenci 27 MHz. Navíc maximální vysílací výkon je až 4 W. Díky tomu se dá dosáhnout spojení na podstatně větší vzdálenost – desítky až stovky kilometrů. Díky dlouhé vlnové délce je ale dosah silně závislý na okolních podmínkách (například stav ionosféry) [3].



Tabulka 3 - Frekvence CB kanálů [4]

Kanál	Frekvence [MHz]	Kanál	Frekvence [MHz]	Kanál	Frekvence [MHz]	Kanál	Frekvence [MHz]
1	26.965	21	27.215	41	26.565	61	26.765
2	26.975	22	27.225	42	26.575	62	26.775
3	26.985	23	27.255	43	26.585	63	26.785
4	27.005	24	27.235	44	26.595	64	26.795
5	27.015	25	27.245	45	26.605	65	26.805
6	27.025	26	27.265	46	26.615	66	26.815
7	27.035	27	27.275	47	26.625	67	26.825
8	27.055	28	27.285	48	26.635	68	26.835
9	27.065	29	27.295	49	26.645	69	26.845
10	27.075	30	27.305	50	26.655	70	26.855
11	27.085	31	27.315	51	26.665	71	26.865
12	27.105	32	27.325	52	26.675	72	26.875
13	27.115	33	27.335	53	26.685	73	26.885
14	27.125	34	27.345	54	26.695	74	26.895
15	27.135	35	27.355	55	26.705	75	26.905
16	27.155	36	27.365	56	26.715	76	26.915
17	27.165	37	27.375	57	26.725	77	26.925
18	27.175	38	27.385	58	26.735	78	26.935
19	27.185	39	27.395	59	26.745	79	26.945
20	27.205	40	27.405	60	26.755	80	26.955

CB umožňuje jak frekvenční, tak amplitudovou modulaci. S výjimkou kanálů pro datový přenos (24, 25, 52, 53, 76, 77) [4] je povolena pouze analogové hlasové vysílání.

Kanály 1 a 80 jsou doporučeny pouze pro svolávání (účastníci se zde pouze domluví, na kterém z aktuálně volných kanálů budou dále komunikovat). Kanály 10 a 19 jsou doporučeny pro dopravní informace. Kanál 9 je vyhrazen pro nouzové volání a většinou je monitorován složkami integrovaného záchranného systému. [4]

Na rozdíl od PRM446 využívá CB převážně pevné stanice (mezi pevné se počítají i stanice v automobilech). Je to způsobeno převážně tím, že díky relativně nízké frekvenci potřebuje velké antény. Navíc maximální vysílací výkon 4 W už není úplně vhodný pro bateriově napájené aplikace.

## 3 DOSTUPNÉ TECHNOLOGIE

### 3.1 Kompresce dat

Kvalitní digitální reprezentace zvuku zabírá spoustu místa. Pro navzorkování 1 s záznamu v CD kvalitě (44.1 kHz, 16 bitů [5]) je potřeba  $44100 \times 16 = 705600$  b. Pro přenos je tedy potřeba šířka pásma přibližně 700 kbps. Pro dostatečně kvalitní přenos hlasové informace stačí nižší vzorkovací frekvence i menší rozlišení. Běžně se pro tyto účely používá 8 kHz, 8 bitů. Při těchto parametrech je tedy pro přenos potřeba šířka pásma  $8000 \times 8 = 64000$  bps. I toto je ovšem příliš vysoká rychlost, proto je potřeba navzorkovaný audiosignál nějakým způsobem zkomprimovat.

Vyvíjet v dnešní době vlastní metodu na kompresi audiosignálu je nesmysl. Existuje velké množství algoritmů s různou mírou použitelnosti. Stačí si jen vybrat ten nejvhodnější. Při výběru je potřeba zohlednit několik faktorů:

- Dostupnost – některé běžně používané kodeky jsou chráněny patenty a jejich použití je tudíž problematické
- Vhodnost pro danou aplikaci – je rozdíl mezi kodekem pro řeč a pro hudbu
- Poměr cena / výkon – cenou se zde myslí buďto cena integrovaného obvodu, řešícího kompresi na hardwarové úrovni, nebo nároky na výpočetní výkon + paměť u softwarového řešení (tento parametr je poněkud obtížně zjistitelný, neboť u naprosté většiny kodeků není uveden a ověřit ho proto bude možné až testem na fyzickém hardwaru); výkon je dosažený kompresní poměr

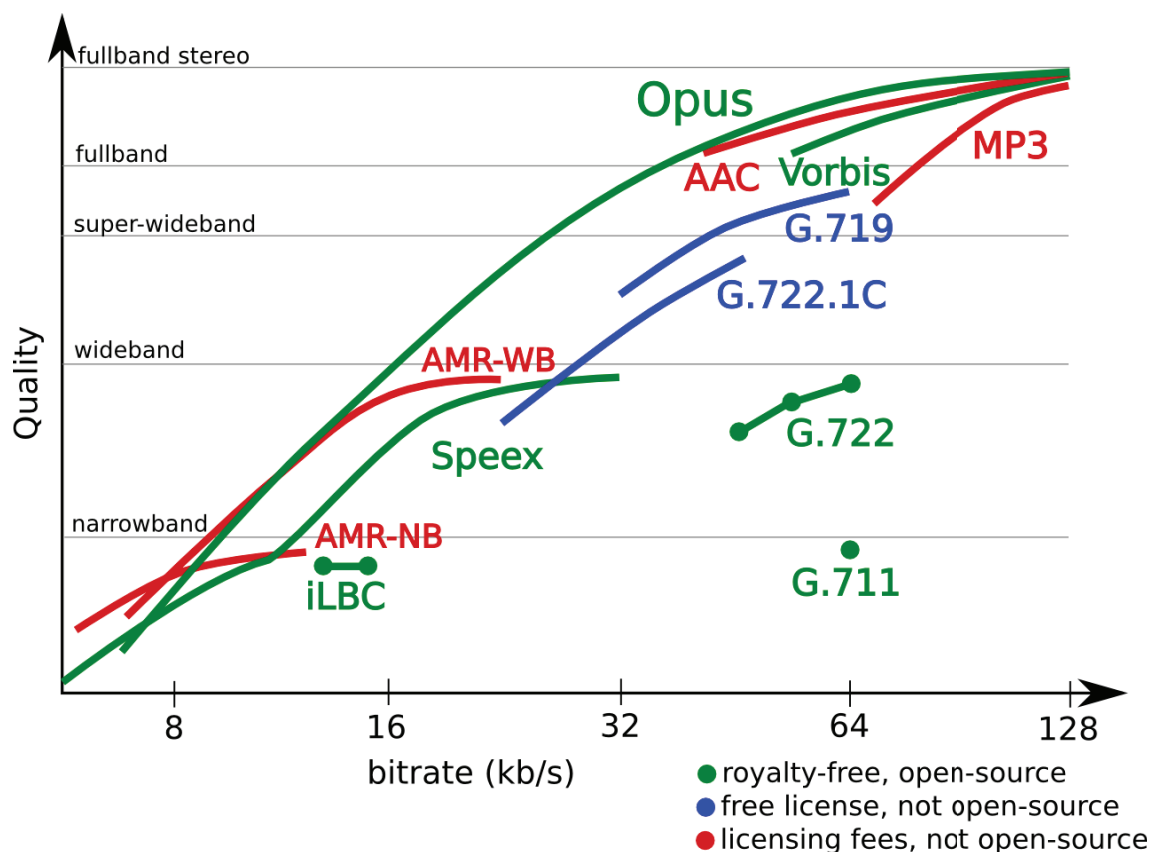
Zde je ještě potřeba uvést, že integrované obvody označované jako audiokodeky vlastně žádnou kompresi neprovádí. V naprosté většině se jedná pouze o analogově digitální a digitálně analogové převodníky. Často obsahují také výkonové zesilovače pro sluchátka, nebo malé reproduktory a mikrofonní předzesilovače. Dále pak bývají vybaveny filtry pro odstranění vzorkovací frekvence (pokud tato je ve slyšitelném pásmu) a podobně. Výjimku tvoří obvody pro dekódování MP3, ale i ty v naprosté většině umí pouze dekódovat a nikoli komprimovat. Navíc, jak je uvedeno dále, je formát MP3 pro kompresi hlasové informace nevhodný.

Tabulka 4 - Srovnání vybraných audiokodeků

Kodek	Dostupnost	Zaměření	Minimální datový tok [kbps]
Speex [6]	Open source	Řeč	2
Codec2 [7]	Open source	Řeč	1.2
Opus [8]	Open source	Řeč/hudba	6
AMR [9]	Patentováno	Řeč	4.75
G.729 [10]	Patentováno	Řeč	8
G.711 [11]	Open source	Řeč	64
MP3 [12]	Hardwarový enkodér/dekodér	Hudba	8
Vorbis [13]	Open source	Hudba	32
FLAC [14]	Open source	Audio obecně (bezztrátový)	-
AAC [15]	Patentováno	Audio obecně (bezztrátový)	-
Windows Media Audio [16]	Patentováno	Audio obecně (bezztrátový)	470

Vzhledem k zaměření na přenos hlasové informace můžeme vynechat kodeky zaměřené na hudbu, jako například MP3. Kvůli redukci ceny zařízení nemá smysl uvažovat ani o kedecích, na které je potřeba zakoupit licenci. Zbývají proto otevřené kodeky Speex, Codec2 a Opus.

Všechny tyto kodeky jsou založeny na metodě CELP - *Code-excited linear prediction* [17]. Jedná se o metodu komprimace řeči, kterou vyvinul v již v roce 1985 M. R. Schroeder a B. S. Atal [18]. Metoda je založená na lineární interpolaci nasnímaných vzorků a predikci vzorků následujících. Protože v řeči se vyskytuje pouze omezený počet opakujících se sekvencí, jsou tyto výsledky porovnávány s předchystanou pevnou tabulkou a tabulkou, kterou si kodek sám upravuje podle vstupních dat. Tento systém je v současnosti v různých modifikacích jedním z nejpoužívanějších pro kompresy řeči, díky relativně vysoké kvalitě přenášené informací při minimálních požadavcích na datový tok přenosového kanálu. Bližší informace o metodě jsou dostupné v [17] a [18] (anglicky).



Obrázek 1 - Srovnání kodeků podle kvality a datového toku [19]

## 3.2 Bezdrátová komunikace

Jediné dostupné řešení pro bezdrátovou komunikaci na požadovanou vzdálenost jsou rádiové vlny. Vývoj vlastního rádiového pojítka je ovšem prakticky nemožný z legislativních důvodů. Kvůli zajištění bezproblémového rádiového provozu a zamezení vzájemného rušení mezi jednotlivými uživateli rádiového spektra, je jeho užívání silně omezeno. Každé zařízení, které umí vysílat rádiové vlny, k tomu proto musí mít licenci. Ty v České republice uděluje a zpravuje Český telekomunikační úřad (ČTU). Současné rozdělení rádiového spektra je uvedeno v [20], podrobně pak v plánu využití rádiového spektra, jehož části jsou dostupné z [21].

Jediná možnost je tedy zakoupení hotového modulu, spadajícího pod některé ze všeobecných oprávnění z [22]. V úvahu připadají ISM<sup>2</sup> pásma 433 MHz, 868 MHz a 2.4 GHz.

<sup>2</sup> *industrial, scientific and medical* – volná pásma, spadající pod všeobecné licence ČTU; není zde vyloučeno rušení [29]

## 4 ŘEŠENÍ

### 4.1 Mikroprocesor

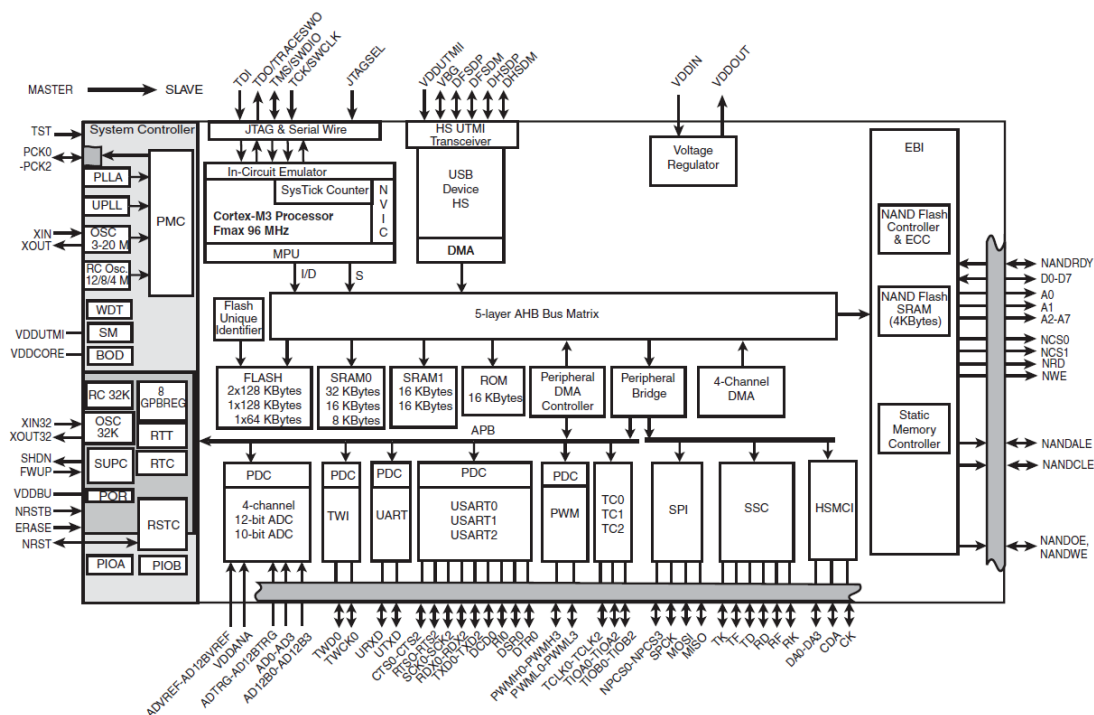
Jak vyplývá z výše uvedeného, komprimaci audio signálu bude zajišťovat software. Běžné osmibitové mikrokontroléry nedisponují dostatečným výpočetním výkonem pro zajištění dostatečné komprese. Z toho důvodu je potřeba použít podstatně výkonnější třicetidvoubitový procesor. Byl vybrán mikroprocesor od firmy Atmel ATSAM3U2CA-AU. Jedná se o procesor postavený na jádře ARM® Cortex®-M3 revision 2.0 [23]. Hlavní důvod byl ten, že pro toto jádro existuje optimalizovaná verze kodeku Speex [24].

Vybrané vlastnosti procesoru [23]:

- ARM® Cortex®-M3 revision 2.0 running at up to 96 MHz
- 128 kB Flash
- 36 kB RAM
- 16 Kbytes ROM with embedded bootloader routines (UART, USB)
- Up to 17 peripheral DMA (PDC) channels and 4-channel central DMA
- USB 2.0 Device: 480 Mbps, 4-kbyte FIFO, up to 7 bidirectional Endpoints, dedicated DMA
- 3 USARTs (ISO7816, IrDA®, Flow Control, SPI, Manchester support) and one UART
- TWI (I2C compatible), 1 SPI, 1 SSC (I2S), 1 HSMCI (SDIO/SD/MMC)
- 3-Channel 16-bit Timer/Counter (TC) for capture, compare and PWM
- 4-channel 16-bit PWM (PWMC)
- 32-bit Real Time Timer (RTT) and RTC with calendar and alarm features
- 4-channel 12-bit 1 MSPS ADC with differential input mode and programmable gain + 4-channel 10-bit ADC
- 57 GPIO

Velká výhoda tohoto procesoru je paměť ROM s předprogramovaným USB bootloaderem. Díky tomu není potřeba žádný programátor, stačí pouze připojit procesor přes USB k počítači a od výrobce si stáhnout příslušný klientský software a ovladače.

Výpočetní výkon procesoru je poněkud předimenzovaný. Podle [24] by měl být procesor samotnou kompresí a dekompresí audia vytížen pouze asi na 50%. Tato výkonová rezerva je počítána pro zkvalitnění komunikace pomocí dalšího filtrování vstupního signálu, jako například odstranění echa, nebo potlačení šumu (tyto filtry jsou volitelnou součástí Speex [6]). Navíc je tato rezerva potřeba pro obsluhu ostatních částí aplikace, jako je audio kodek, RF modul, případně další externí moduly k aplikaci připojené. Ve volném čase pak může být procesor uspán, čímž se sníží spotřeba elektrické energie.



Nevýhodou je, že procesor nedisponuje pamětí EEPROM pro ukládání uživatelských dat za běhu aplikace. D toho důvodu je k procesoru pomocí SPI připojena externí paměť. Vybrána byla paměť typu FRAM: FM25CL64B-G od firmy RAMTRON. Výhodou feroelektrických pamětí je jejich vysoká rychlost (zde až téměř 16 Mbps [25]) a velmi velká životnost (zde až  $10^{13}$  zápisů [25]) v porovnání se standardními stálými pamětmi typu FLASH nebo EEPROM. Díky tomu je možné tuto paměť používat alternativně také jako RAM, pokud by paměť v procesoru z nějakého důvodu nestačila. Nevýhodou je poněkud vyšší cena než u konvenčních pamětí. Paměť je ovšem pinově kompatibilní s klasickými sériovými SPI FLASH pamětmi, tudíž v rámci redukce ceny výrobku je možné ji nahradit levnější variantou (případně úplně vynechat – pro provoz není nezbytně nutná, ale pravděpodobně používání aplikace zkvalitní).

## 4.2 Audio kodek

Pro vzorkování vstupního audio signálu by se dal použít analogově digitální převodník, integrovaný přímo v mikroprocesoru. Digitálně analogovým převodníkem mikroprocesor sice nedisponuje, ale za pomoci jednoduchého RC filtru se dá pro generování analogového signálu použít PWM výstup.

Nicméně i tyto na první pohled zdánlivě jednoduché varianty mají několik problémů. Pokud by na vstupu měl být připojen přímo mikrofon, je potřeba zařadit před AD převodník předzesilovač. Signál z mikrofonu je totiž příliš slabý, než by se dal snímat přímo, i při použití zesilovače integrovaného na vstupu AD převodníku. Naopak pokud byl vstupem klasický linkový signál s amplitudou 1 V<sub>pp</sub>, musel by tento být

přiveden až za předzesilovač, aby nedošlo k jeho saturaci. Alternativně by musel být použit zesilovač s nastavitelným zesílením.

Na výstupu je pak největším problémem nízká vzorkovací frekvence audio signálu. Pro minimalizaci datového toku se totiž audio signál vzorkuje na co nejnižší frekvenci, v praxi na 8 kHz. Tato frekvence přibližně v prostředku akustického pásma a tudíž dobře slyšitelná, ale velmi nepříjemná. Její potlačení je možné buď filtru typu horní propust, nebo digitálním převzorkováním výstupního signálu na vyšší frekvenci. Další problémy pak přináší proudová zatížitelnost výstupního pinu procesoru, či požadavek na efektivní ovládání hlasitosti.

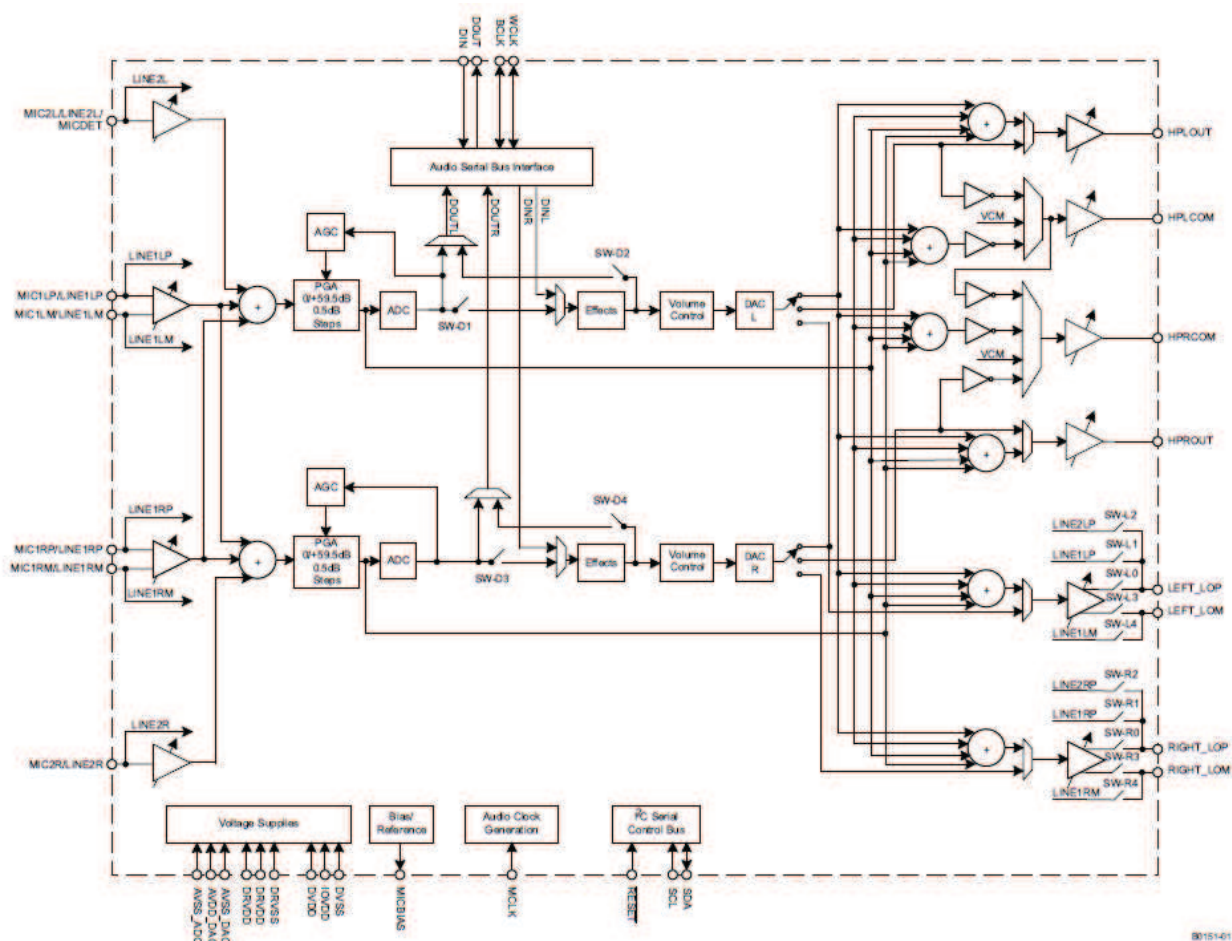
Všechny tyto problémy řeší právě audio kodek. Integruje v sobě několik analogových vstupů s nastavitelným zesílením, díky čemuž je možné připojit jak mikrofon, tak linkový výstup. Umí poskytovat napájení pro v současnosti nejrozšířenější elektretové mikrofony. Provádí převzorkování výstupního signálu. Poskytuje jak linkový výstup, tak výstup pro sluchátka (výkonově a impedančně přizpůsobený).

Byl vybrán kodek od firmy Texas Instruments TLV320AIC3101.

Vybrané vlastnosti kodeku [26]:

- Stereo Audio DAC
  - 102 dBA Signal-to-Noise Ratio
  - 16/20/24/32-Bit Data
  - Supports SampleRates From 8 kHz to 96 kHz
  - Stereo Fully Differential or Single-Ended Headphone Drivers
  - Fully Differential Stereo Line Outputs
  - Stereo 8  $\Omega$ , 500 mW/Channel Speaker Drive Capability
- Stereo Audio ADC
  - 92 dBA Signal-to-Noise Ratio
  - Supports SampleRates From 8 kHz to 96 kHz
  - Digital Signal Processing and Noise Filtering Available During Record
  - Automatic Gain Control (AGC) for Record
  - One Stereo Pair of Single-Ended Inputs
  - One Stereo Pair of Fully Differential Inputs
- Programmable Input/Output Analog Gains
- Programmable Microphone Bias Level
- I2C Control Bus
- Audio Serial Data Bus Supports I2S, Left/Right-Justified, DSP, and TDM Modes





**Obrázek 3 - Blokové schéma audio kodeku [26]**

### 4.3 RF modul

Dostupné RF moduly se podle frekvence dělí v podstatě do dvou hlavních kategorií – pod 2.4 GHz a nad 2.4 GHz včetně.

Ve druhé kategorii jsou většinou samostatné moduly s vlastním procesorem, fungující přímo jako náhrada sériového kabelu. Díky tomu se starají kompletně o bezdrátovou komunikaci a z hlediska řídicího procesoru jsou prakticky transparentní. Ne vždy umožňují komunikaci mezi více zařízeními zářs. Patří sem Bluetooth, ZigBee a WiFi.

Bluetooth moduly jsou buď levné a pak mají velmi krátký dosah (řádově metry), nebo drahé, kde se dosah může vyšplhat až ke kilometru. Přenosová rychlost (až 1 Mbps – overhead RFCOMM protokolu) je více než dostatečná. Nejlevnější modely implementují pouze RF část a Bluetooth stack si musí zajistit nadřazený uživatelský procesor.

ZigBee moduly oproti Bluetooth nechávají větší kontrolu nad komunikací hostitelskému procesoru. Mají o řád menší přenosovou rychlost a menší spotřebu elektrické energie. Dosah se u dražších modelů pohybuje také okolo kilometru.

WiFi moduly poskytují nejvíce služeb (jako zabezpečené šifrované připojení, spojení mezi více zařízeními, a podobně). Mají také jednoznačně největší přenosovou



rychlost. Jejich hlavní nevýhodou je velmi velká spotřeba energie. Také dosah se pohybuje řádově pouze v desítkách až stovkách metrů.

Moduly z první kategorie pracují v ISM pásmu většinou buďto na 433 MHz, nebo na 866 MHz. Mají podstatně nižší spotřebu než 2.4 GHz moduly. Dosah bývá od stovek metrů až po desítky kilometrů. Přitom zde není tak patrná přímá úměra mezi dosahem a cenou, jako u 2.4 GHz modulů. Přenosové rychlosti se zde pohybují od stovek bitů za sekundu až po 256 kbps. Většina jich řeší pouze RF část a obsluhu komunikace nechává plně na hostitelském procesoru.

Pro tuto aplikaci byl vybrán modul RFM22B od firmy Hope Microelectronics co., Ltd.

Vybrané vlastnosti RF modulu [27]:

- Frequency Range: 433/868/915 MHz ISM bands
- Output power: +20 dBm
- Sensitivity: -121 dBm
- Data Rate: 0.123 to 256 kbps
- FSK, GFSK, and OOK modulation
- Power Supply = 1.8 to 3.6 V
- Digital RSSI<sup>3</sup>
- Auto-frequency calibration (AFC)
- Antenna diversity<sup>4</sup> and TR switch control<sup>5</sup>
- Configurable packet handler
- Preamble<sup>6</sup> detector
- TX and RX 64 byte FIFOs
- Frequency hopping capability

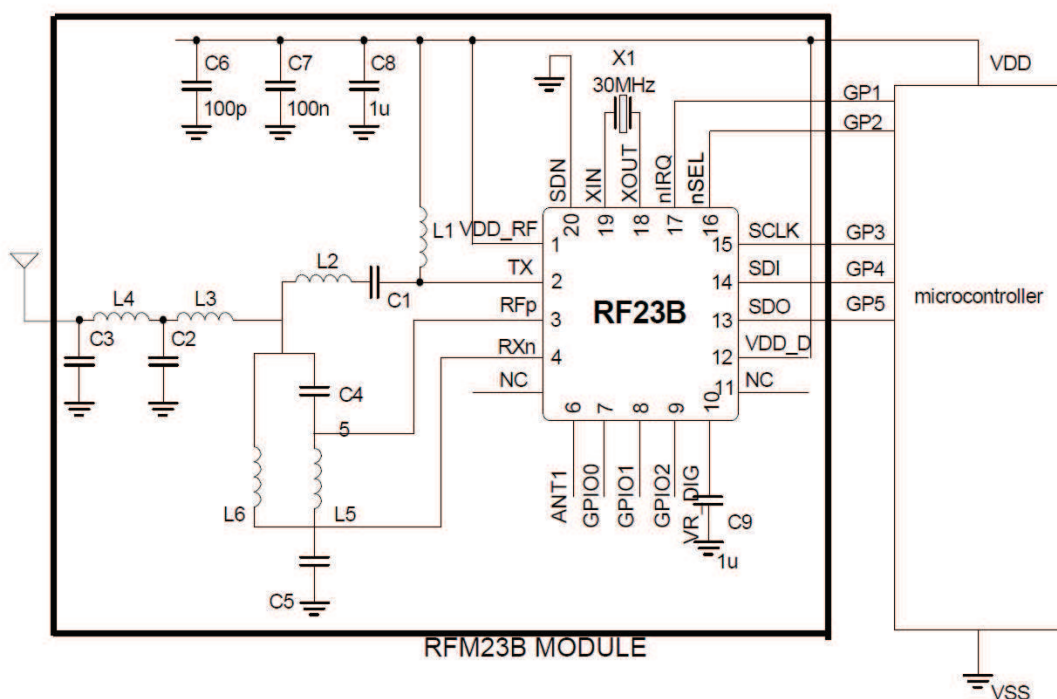
---

<sup>3</sup> RSSI - *Radio Signal Strength Indicator* – poskytuje informaci o síle přijímaného signálu [27]

<sup>4</sup> Umožňuje připojit 2 antény zároveň (přes speciální RF přepínač), modul pak při každém příjmu dat vybírá tu se silnějším signálem; stejná anténa se poté použije i pro následující vysílání; v této variantě DPS není diverzita antén využita

<sup>5</sup> Automatické přepínání antény mezi přijímač a vysílač

<sup>6</sup> Specifická sekvence označující začátek vysílání – většinou střídání 1 a 0



Obrázek 4 - Stručné schéma RF modulu [25]

Jak vyplývá z předchozího obrázku, modul je k procesoru připojen pomocí sběrnice SPI. Tuto sběrnici sdílí s externí pamětí. Dále má modul možnost signalizovat procesoru samostatným signálem žádost o obsluhu.

Jako anténa je počítán drát délky  $\lambda/4$ , případně  $\lambda/8$ . Bude-li to nutné, je možno její impedanci upravit pomocí sério-paralelní kombinace RLC (impedance antény je podstatně jednodušší změřit než spočítat; navíc impedance antény závisí silně na jejím nejbližším okolí, jako je například krabice, ve které je celá aplikace umístěna; protože krabice doposud nebyla navržena, nedá se anténa dopředu impedančně přizpůsobit). Jako zem je pro anténu počítán zemnicí polygon DPS.

## 4.4 DPS

DPS je navržena jako testovací prototyp, tudíž poněkud univerzálně. Deska má rozměry 5 x 10 cm. Jedná se o dvouvrstvou desku se součástkami převážně na horní straně (kvůli dodržení požadavků na napájení nemohou být všechny součástky na horní straně a několik součástek, zajišťujících napájení procesoru, muselo být umístěno na spodní stranu desky). S ohledem na mobilitu zařízení je deska navržena na hranici běžně dostupných průmyslových výrobních technologií – tloušťka drah a mezer mezi nimi 0.2 mm, vrtání 0.4 mm. S výjimkou některých konektorů jsou všechny součástky v SMD provedení.

Pro primární vstup a výstup audio signálu je deska vybavena elektretovým mikrofonem a konektorem pro připojení standardního reproduktoru 8  $\Omega$ , 0.5 W.

Sekundární vstup a výstup audio signálu zajišťuje standardní 3.5 mm čtyřpinový jack, jaký se běžně používá pro připojení hands-free k mobilnímu telefonu. Přes něj je umožněn stereo sluchátkový, nebo linkový výstup a mono vstup buď pro

mikrofon, nebo linkový vstup. Samozřejmostí je poskytnutí napájení pro elektretový mikrofon. Navíc je zde nezávislá detekce připojení sluchátek a mikrofonu.

Pro programování a ladění je k dispozici mikro USB konektor typu B. Desku je možné z USB portu i napájet, při dodržení požadavků na maximální odběr proudu - maximální trvalá spotřeba desky bez připojených periférií je 400 mA (omezeno výkonem lineárních stabilizátorů), ovšem vhodným nastavením (vysílací výkon RF modulu, hlasitost audio výstupu, atd.) je možno ji zmenšit pod 100 mA, které je sto USB port dodávat.

Programovat i ladit je také možné přes UART\_D, vyvedený na pinhedech. Případně je vyveden také JTAG.

Dále je na pinhedy vyvedeno:

- interní SPI sběrnice (propojující procesor s pamětí a RF modulem) a k ní dva samostatné piny pro chip select
- interní I<sup>2</sup>C sběrnice (propojující procesor a ovládání audio kodeku)
- USART, včetně RTS/CTS řízení toku
  - Není-li řízení toku vyžadováno, je možné konektor využít jako 2 nezávislé UARTy
- 8 x GPIO
  - 4 x PWM
  - RTS/CTS pro UART2
  - Generátor hodinového signálu
- Reset procesoru
- Emergenci pin pro vstup do bootloaderu
- Shutdown pin umožňující vypnutí RF modulu
- Anténa

Pro základní signalizaci stavu jsou na desce umístěny 3 LED, ovládané z procesoru. Čtvrtá LED (PWRLLED) signalizuje přítomnost napájecího napětí.

Napájecí napětí 3.3 V vyvedené u komunikačních konektorů není silové, ale je počítáno spíše jako referenční napětí pro komunikaci. Maximální proudový odběr z nich je dán momentálním odběrem desky a výkonovou rezervou stabilizátoru (ten je sto dávat maximálně 200 mA [28]). Pro napájení případných periférií slouží PWR konektor v levém dolním rohu desky.

Napájení desky je možné buď z USB, nebo z konektoru BAT. Jmenovité napětí je 3.7 – 5.5 VDC. Deska je chráněna proti přepólování. Maximální trvalý odběr 400 mA.

## 5 ZÁVĚR

Práce se zabývá návrhem hardwaru pro bezdrátový přenos komprimované hlasové informace.

V první části jsou uvedeny některá komerčně dostupná hotová řešení, jejich výhody a nedostatky.

Druhá část práce se zabývá teoretickými možnostmi vlastního řešení daného problému. Zvláště se zaměřuje na dvě nejdůležitější části – komprimaci audio signálu a bezdrátovou komunikaci. Je zde vybráno nejvhodnější řešení daných problémů případně více řešení, která je třeba vyzkoušet v praxi a vybrat z nich nejlepší.

Ve třetí části vybrány a popsány konkrétní hardwarové prostředky, umožňující realizaci řešení zvolených ve druhé části. Dále je zde popsána navržená deska plošných spojů, řešící zadaný problém.

Výsledné zařízení je navrženo jako samostatný nezávislý systém, vybavený řídicím mikroprocesorem, analogovým vstupem a výstupem a RF modulem zajišťujícím bezdrátovou komunikaci mezi dvěma (případně mezi více) těmito zařízeními. Jediná externí hardwarová komponenta nezbytná pro funkci zařízení je zdroj elektrické energie (předpokládá se jeden článek Li-Po, nebo Li-Ion baterie).

V rámci pokračování projektu by bylo dobré provést na zařízení několik úprav a dodělávek:

- Rozšířit analogové vstupy a výstupy aplikace (chybí stereo vstup), aby tato byla použitelná i pro přenos kvalitnějších signálů.
- Předělat RF část, aby se využily všechny možnosti RF modulu, převážně diverzifikace antén.
- Dodělat správu napájení, aby se k zařízení dal na pevně připojit akumulátor a jeho nabíjení řešit nejlépe připojením zařízení k USB portu.
- Přidělat ovládací prvky (displej + klávesnice, popřípadě dotykový displej).
- Navrhnout pro zařízení designově pěknou krabičku.

# CITOVANÁ LITERATURA

- 1] Anon., „PMR446,“ 13 11 2012. [Online]. Available: <http://cs.wikipedia.org/wiki/PMR446>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 2] Český telekomunikační úřad, „Všeobecné oprávnění č. VO-R-3-07.2007-13,“ 23 července 2007. [Online]. Available: [http://www.ctu.cz/1/download/OOP/Rok\\_2007/VO-R\\_03\\_07\\_2007\\_13.pdf](http://www.ctu.cz/1/download/OOP/Rok_2007/VO-R_03_07_2007_13.pdf). [Přístup získán 3 1 2013].
- 3] Anon., „Citizen Band,“ Wikipedie, 10 12 2012. [Online]. Available: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Citizen\\_Band](http://cs.wikipedia.org/wiki/Citizen_Band). [Přístup získán 3 1 2013].
- 4] Český telekomunikační úřad, „všeobecné oprávnění č. VO-R/7/04.2012-6 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování občanských radiostanic v pásmu 27 MHz,“ 24 duben 2012. [Online]. Available: [http://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok\\_2012/vo-r\\_07-04\\_2012-06.pdf](http://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok_2012/vo-r_07-04_2012-06.pdf). [Přístup získán 3 1 2013].
- 5] Anon., „Kompaktní disk,“ Wikipedie, 2 12 2012. [Online]. Available: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Kompaktn%C3%AD\\_disk](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kompaktn%C3%AD_disk). [Přístup získán 3 1 2013].
- 6] Anon., „speex,“ Xiph.Org, 2006. [Online]. Available: <http://www.speex.org/>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 7] Anon., „Codec2 - Next-Generation Digital Voice for Two-Way Radio,“ [Online]. Available: <http://codec2.org/>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 8] Anon., „Opus Interactive Audio Codec,“ Xiph.Org, 2012. [Online]. Available: <http://opus-codec.org/>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 9] Anon., „Adaptive Multi-Rate audio codec,“ Wikipedia, 20 12 2012. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive\\_Multi-Rate\\_audio\\_codec](http://en.wikipedia.org/wiki/Adaptive_Multi-Rate_audio_codec). [Přístup získán 3 1 2013].
- 10] Anon., „G.729,“ Wikipedia, 24 7 2012. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/G.729>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 11] Anon., „G.711,“ Wikipedia, 21 12 2012. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/G.711>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 12] Anon., „MP3,“ Wikipedia, 3 1 2013. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/MP3>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 13] Anon., „Vorbis,“ Wikipedia, 25 12 2012. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Vorbis>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 14] Anon., „FLAC,“ Wikipedia, 3 1 2013. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/FLAC>. [Přístup získán 3 1 2013].

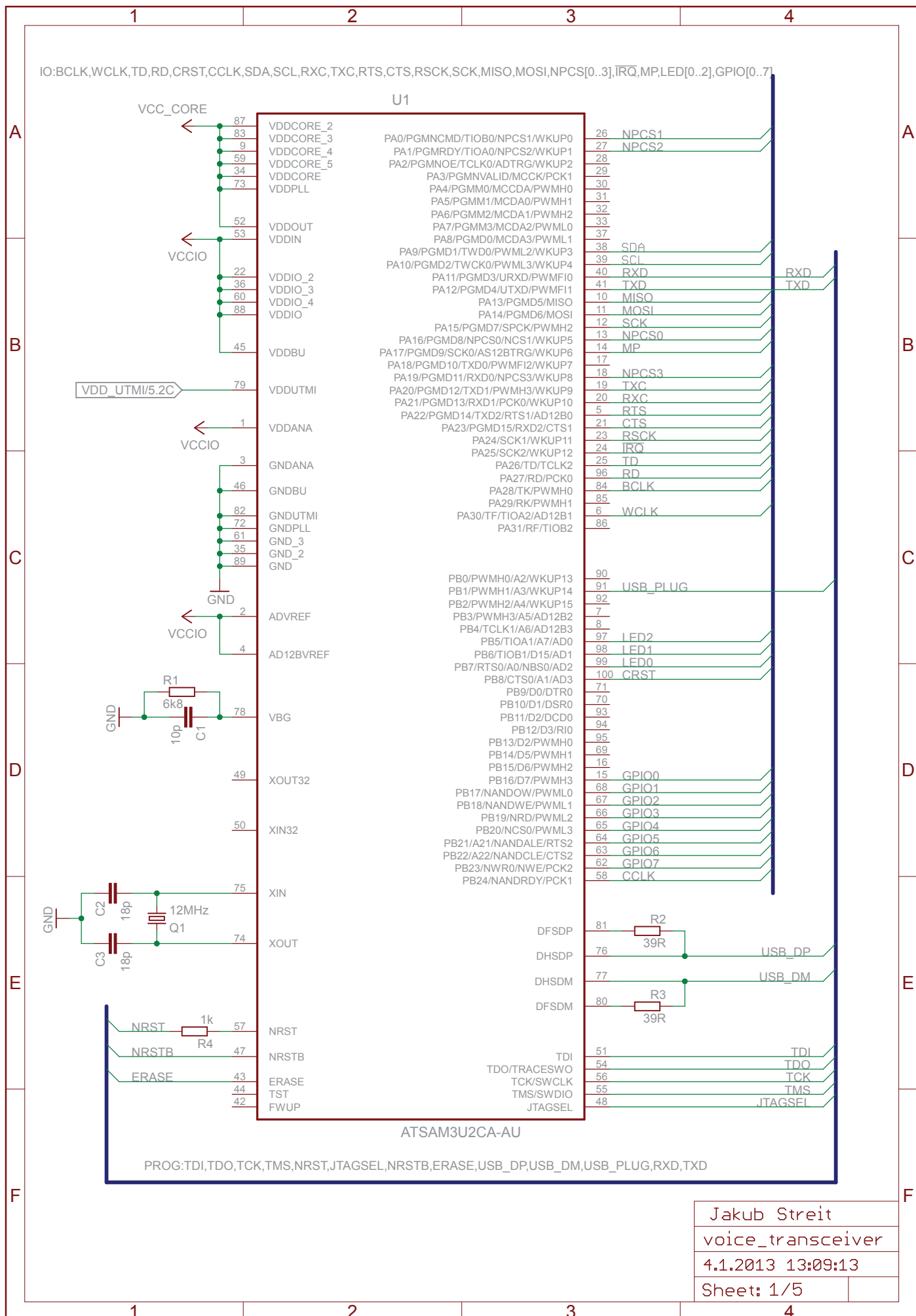
- 15] Anon., „Advanced Audio Coding,“ Wikipedia, 2 1 2013. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_Audio\\_Coding](http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Audio_Coding). [Přístup získán 3 1 2013].
- 16] Anon., „Windows Media Audio 9 Lossless,“ Wikipedia, 30 12 2012. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Windows\\_Media\\_Audio\\_9\\_Lossless](http://en.wikipedia.org/wiki/Windows_Media_Audio_9_Lossless). [Přístup získán 3 1 2013].
- 17] J.-M. Valin, „Introduction to CELP Coding,“ Xiph.Org, 23 5 27. [Online]. Available: <http://www.speex.org/docs/manual/speex-manual/node9.html>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 18] Anon., „Wikipedia,“ 26 8 2012. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Code-excited\\_linear\\_prediction](http://en.wikipedia.org/wiki/Code-excited_linear_prediction). [Přístup získán 3 1 2013].
- 19] Anon., „Opus Codec,“ Xiph.Org, 2012. [Online]. Available: <http://opus-codec.org/comparison/>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 20] Ministerstvo průmyslu a obchodu, „Vyhláška o plánu přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtová tabulka),“ 19 4 2010. [Online]. Available: [www.ctu.cz/cs/download/kmitoctova\\_tabulka/vyhlaska\\_105-2010\\_sb038-10.pdf](http://www.ctu.cz/cs/download/kmitoctova_tabulka/vyhlaska_105-2010_sb038-10.pdf). [Přístup získán 3 1 2013].
- 21] Český telekomunikační úřad, „Plán využití rádiového spektra,“ Český telekomunikační úřad, 7 12 2012. [Online]. Available: <http://www.ctu.cz/predpisy-a-opatreni/plan-vyuziti-radioveho-spektra.html>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 22] Český telekomunikační úřad, „Všeobecná oprávnění,“ Český telekomunikační úřad, 1 1 2013. [Online]. Available: [http://www.ctu.cz/predpisy-a-opatreni/opatreni-ctu/vseobecna-opravneni.html/article\\_pos/1](http://www.ctu.cz/predpisy-a-opatreni/opatreni-ctu/vseobecna-opravneni.html/article_pos/1). [Přístup získán 3 1 2013].
- 23] Atmel, „SAM3U Series Complete,“ 21 2 2012. [Online]. Available: <http://www.atmel.com/Images/doc6430.pdf>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 24] STMicroelectronics, „Vocoder demonstration using a Speex audio codec on STM32F101xx and STM32F103xx microcontrollers,“ 10 2008. [Online]. Available: [http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL\\_RESOURCES/TECHNICAL\\_LITERATURE/APPLICATION\\_NOTE/CD00204907.pdf](http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/APPLICATION_NOTE/CD00204907.pdf). [Přístup získán 3 1 2013].
- 25] Ramtron International Corporation, „FM25CL64B,“ 9 2012. [Online]. Available: [http://www.ramtron.com/files/datasheets/FM25CL64B-GA\\_ds.pdf](http://www.ramtron.com/files/datasheets/FM25CL64B-GA_ds.pdf). [Přístup získán 3 1 2013].

- 26]       Texas Instruments, „LOW-POWER STEREO AUDIO CODEC FOR PORTABLE AUDIO/TELEPHONY,“ 12 2008. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv320aic3101.pdf>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 27]       Hope Microelectronics, „RFM22B/23B ISM TRANSCEIVER MODULE,“ 2006. [Online]. Available: [http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM22B\\_23B.pdf](http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM22B_23B.pdf). [Přístup získán 3 1 2013].
- 28]       Texas Instruments, „LOW-NOISE, HIGH PSRR, RF 200-mA LOW-DROPOUT LINEAR REGULATORS,“ 2 2011. [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps73001.pdf>. [Přístup získán 3 1 2013].
- 29]       Anon., „Pásmo ISM,“ Wikipedie, 10 10 2012. [Online]. Available: [http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1smo\\_ISM](http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1smo_ISM). [Přístup získán 3 1 2013].

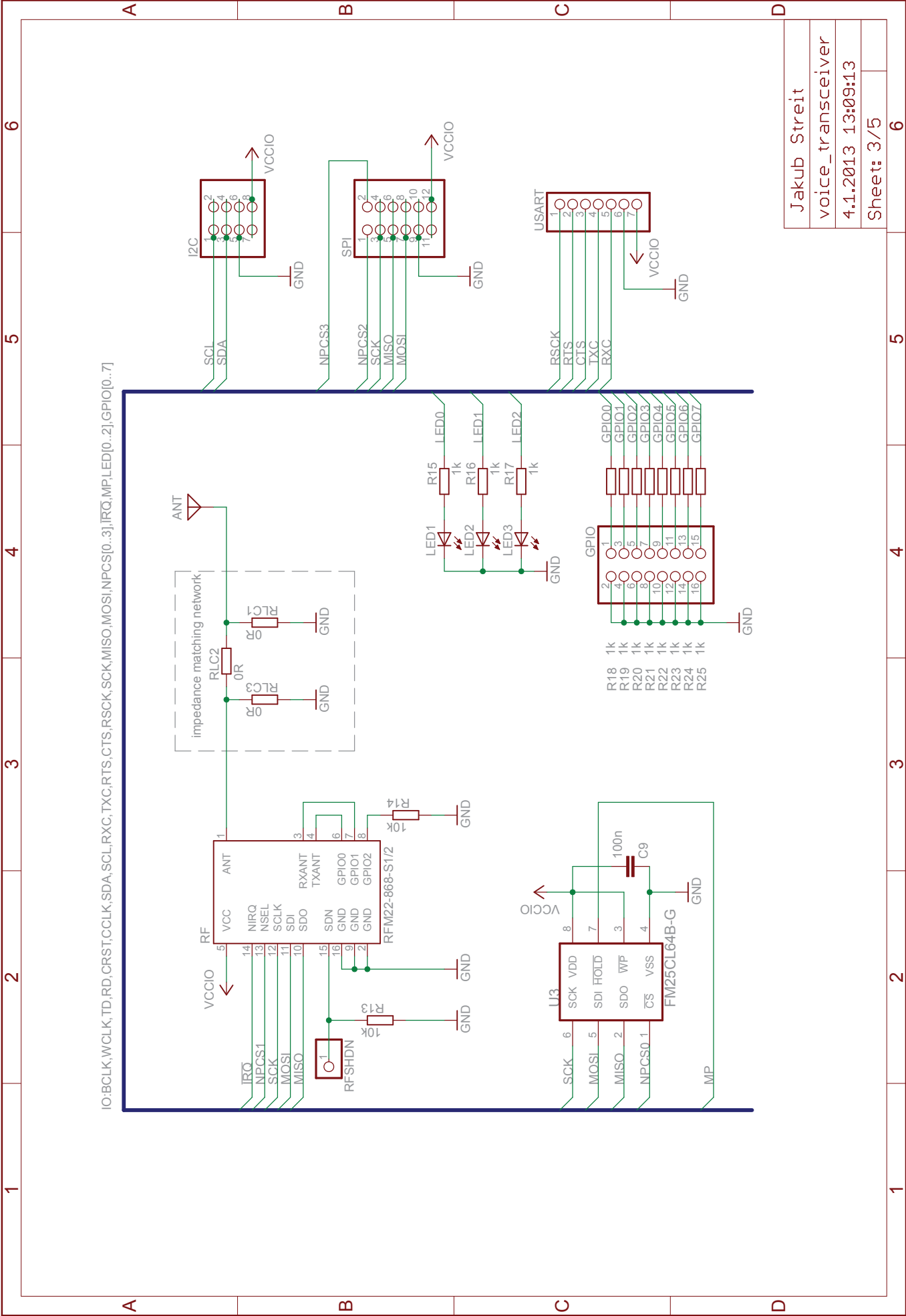
# SEZNAM PŘÍLOH

- Schéma (5 listů)
- Deska plošných spojů (2 listy – vrchní a spodní strana, oboje v měřítku 2:1)









Jakub Streit

voice\_transceiver

4.1.2013 13:09:13

Sheet: 3/5



