

# UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ  
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

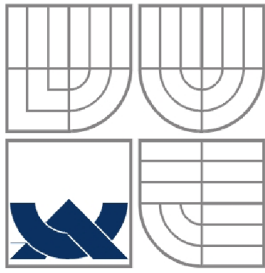
## BEZDRÁTOVÝ PŘENOS SIGNÁLU ROZHRANÍ DMX512

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

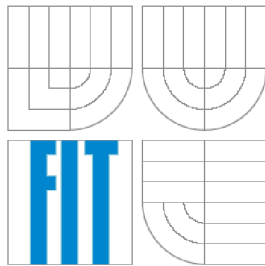
BC. PAVOL POLÓNI

BRNO 2009



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

# BEZDRÁTOVÝ PŘENOS SIGNÁLU ROZHŘANÍ DMX512

WIRELESS SIGNAL TRANSMISSION OF DMX512 INTERFACE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**BC. PAVOL POLÓNI**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**ING. VÁCLAV ŠIMEK**

BRNO 2009

## **Zadání diplomové práce**

Řešitel: **Polóni Pavol, Bc.**

Obor: Počítačové systémy a sítě

Téma: **Bezdrátový přenos signálu rozhraní DMX512**

Kategorie: Vestavěné systémy

Pokyny:

1. Detailně prostudujte rozhraní DMX512. Zpracujte krátkou studii věnující se možnostem přenosu signálu a oblasti použití.
2. Zvolte vhodnou architekturu pro řízení, zpracování a samotný bezdrátový přenos signálu.
3. Seznamte se s problematikou návrhu plošných spojů v prostředí Eagle nebo KiCAD.
4. Vytvořte blokové schéma uvažované platformy pro bezdrátový přenos signálu rozhraní DMX512.
5. Dle pokynů vedoucího zvolte vhodné komponenty pro implementaci této platformy. Navrhněte schéma zapojení a desku plošných spojů.
6. Ověřte parametry zařízení pomocí osciloskopu a logického analyzátoru. Vhodnou formou demonstруйте funkčnost bezdrátového přenosu signálu.
7. Zamyslete se nad možnostmi praktického nasazení vytvořeného systému, jeho miniaturizací, popřípadě zabudováním do přípravků pro pódiové efekty.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Při obhajobě semestrální části diplomového projektu je požadováno:

- Splnění bodů 1-4 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování diplomové práce naleznete na adrese

<http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva diplomové práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap, které byly vyřešeny v rámci ročníkového a semestrálního projektu (30 až 40% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Šimek Václav, Ing., UPSY FIT VUT**

Datum zadání: 22. září 2008

Datum odevzdání: 26. května 2009

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
Fakulta informačních technologií  
Ústav počítačových systémů a sítí  
602 003, Božetěchova 2



doc. Ing. Zdeněk Kotásek, CSc.  
vedoucí ústavu

## Abstrakt

Diplomová práce se věnuje návrhu a realizaci systému pro bezdrátový přenos signálu DMX 512, který je primárně navržen pro řízení světelných efektů. Jeho elektrická specifikace vychází ze standardu EIA485. Textová část práce popisuje jednotlivé etapy návrhu. Nejdříve je uvedena problematika samotného protokolu DMX 512, respektive EIA485. Dále následuje výběr vhodné architektury pro bezdrátový přenos, řízení a sestavení blokového schématu. Praktickou realizaci popisuje výběr komponent a provádění obvodové režimu, z níž je pomocí nástroje Eagle sestavena DPS. Závěrem práce je zhodnocení dosažených výsledků navrženého systému a představený způsob jeho dalšího vývoje aby mohl být reálně nasazen do praxe.

## Abstract

Master's thesis deals with design and implementation of a system for wireless transmission of DMX signal 512, which is primarily designed for the management of lighting effects. Its electrical specification is based on the EIA485 standard. Text of the work describes the design stage. First is the issue of implied actual protocol DMX 512 or EIA485. Next sign on selecting a suitable architecture for wireless transmission, management and compilation of the block diagrams. Describes the operation of the component selection and circuit implementation of the scheme, which is using the DPS Eagle compiled. In conclusion, this work is to evaluate the results of the proposed system and showing the way to its further development so that it can be realistically implemented in practice.

## Klíčová slova

bezdrátový přenos, DMX512, EIA485, vestavěný systém, nRF2401, Nordic Semiconductor, GFSK, Freescale, HCS08, Eagle, DPS

## Keywords

wireless , DMX512, EIA485, embedded system, nRF2401, Nordic Semiconductor, GFSK, Freescale, HCS08, Eagle, DPS

## Citace

Polóni Pavol: Bezdrátový přenos signálu rozhraní DMX512, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2009

# Bezdrátový přenos signálu rozhraní DMX512

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Václava Šimka, Ing. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....  
Pavol Polóni  
3. 3. 2009

## Poděkování

Rád by som poďakoval pánovi Václavovi Šimkovi, Ing. za odborné vedenie a čas strávený nad diplomovou pracou. Za bezproblémový prístup do laboratória ďakujem Richardovi Růžičkovi, Ing. , Jaroslavovi Rábovi, Ing. a Zdenkovi Vašíčkovi Ing.

© Pavol Polóni, 2009

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.*

# OBSAH

<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>3</b>
<b>ZOZNAM TABULIEK.....</b>	<b>5</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>6</b>
<b>2 DMX 512 .....</b>	<b>8</b>
2.1 HISTÓRIA VZNIKU.....	8
2.1.1 Technická špecifikácia EIA485.....	8
2.2 POPIS DÁTOVÉHO FORMÁTU DMX512 .....	10
2.2.1 Prehľad jednotlivých komponent DMX zbernice .....	13
2.2.2 Typy svetiel a osvetľovacích telies.....	14
2.2.3 Doporučenie pri konštrukcii.....	16
2.2.4 Doplnujúce informácie .....	16
2.2.5 Novinky v norme DMX512/1998 .....	16
<b>3 ARCHITEKTÚRA SYTÉMU.....</b>	<b>17</b>
3.1 RIADENIE A SPRACOVANIE SIGNÁLU .....	17
3.1.1 Výber vhodnej technológie.....	17
3.1.2 Výber platformy pre riadenie a spracovanie .....	17
3.1.3 Základná charakteristika MCU HCS08.....	18
3.2 BEZDRÔTOVÝ PRENOS SIGNÁLU .....	20
3.2.1 IEEE 802.15.4/ZigBee a obvody Freescale .....	20
3.2.2 nRF2401A 2.4GHz transceiver .....	27
<b>4 PROBLEMATIKA NÁVRHU DPS .....</b>	<b>29</b>
4.1 HISTÓRIA .....	29
4.2 FUNKCIE DPS .....	30
4.3 POVRCHOVÁ MONTÁŽ – SMT .....	31
4.3.1 Výhody a nevýhody klasických súčiastok.....	31
4.3.2 Výhody a nevýhody povrchovej montáže – SMT .....	32
4.4 DVOJVRSTVOVÁ DOSKA .....	33
4.5 POPIS.....	34
4.6 NESPÁJKOVACIA MASKA .....	34
<b>5 BLOKOVÁ SCHÉMA A VOĽBA KOMPONENT SYSTÉMU .....</b>	<b>35</b>
5.1 BEZDRÔTOVÝ PRENOS – NRF2401A .....	35
5.1.1 Bloková schéma nRF2401A .....	35
5.1.2 ShockBurst™ .....	36
5.1.3 Direct mode .....	37
5.1.4 Konfigurácia obvodu nRF2401A .....	37
5.1.5 Dôležité časovanie dát .....	38
5.2 RIADENIE - HCS08GT60.....	43
5.2.1 Programovací model .....	45
5.2.2 Mapa pamäti.....	46
5.2.3 Komunikácia medzi MCU a nRF - SPI.....	47

5.2.4	Pripojenie DMX zbernice K MCU – SCI.....	50
<b>6</b>	<b>SOFTWAREVÉ RIADENIE SYSTÉMU - FIRMWARE.....</b>	<b>51</b>
6.1	FIRMWARE PRE DMX512.....	51
6.2	FIRMWARE PRE BEZDRÔTOVÝ PRENOS S NRF2401A.....	54
6.2.1	Vývojový diagram vysielania dát - TX.....	54
6.2.2	Vývojový diagram prijímania dát - RX.....	55
<b>7</b>	<b>OŽIVENIE A TESTOVAIE SYSTÉMU .....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVER .....</b>	<b>59</b>
<b>9</b>	<b>LITERATÚRA .....</b>	<b>60</b>
<b>10</b>	<b>ZOZNAM PRÍLOH .....</b>	<b>61</b>

## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 2.1: Napätové úrovne EIA485 [4] .....	9
Obrázok 2.2: Rôzne spôsoby nastavenia adresy zariadenia (grafický alebo alfanumerický displej, DIP) .....	10
Obrázok 2.3: Časový diagram prenosu jedného dátového paketu v protokole DMX512 [3].....	11
Obrázok 2.4: Zapojenie zbernice DMX512 [3] .....	12
Obrázok 2.5: Rozmiestnenie pinov na konektore XLR 5-Pin a 3-Pin .....	12
Obrázok 2.6: Rozhranie svetelného pultu SGM Regia .....	13
Obrázok 2.7: Výkonová jednotka LitePuter LX1220, ktorú som osadil a zapojil do caseu s istením a DMX splitterom.....	14
Obrázok 2.10: 6x PAR 64 upevnených na rahne.....	15
Obrázok 2.8: FHR 500 .....	15
Obrázok 2.9: GHR 500.....	15
Obrázok 2.11: ROBE 1200XT .....	15
Obrázok 2.12: ROBE CS1200AT.....	16
Obrázok 3.1: Porovnanie technológií .....	17
Obrázok 3.2: Klasifikácia vstavaných systémov .....	18
Obrázok 3.3: Štandard IEEE 802 [15] .....	20
Obrázok 3.4: Príklad ZigBee technológie v priemysle [8] .....	21
Obrázok 3.5: Príklad v domácnosti [8].....	22
Obrázok 3.6: OSI model komunikačného protokolu IEEE 802.15.4/ZigBee [8] .....	22
Obrázok 3.7: Štruktúra dátového rámca štandardu ZigBee - ostatné rámce sa líšia len dátami dodanými vrstvou MAC [8] .....	23
Obrázok 3.8: Bloková schéma jadra transceiverov rady MC1320x [8] .....	25
Obrázok 3.9: Bloková schéma ZigBee SiP obvodov rady MC1321x [8] .....	27
Obrázok 4.1: Návrh obojstrannej DPS riadiacej jednotky a nRF, DMX transceiverov .....	29
Obrázok 4.2: Vybrané parametre DPS riadiacej jednotky .....	30
Obrázok 4.3: Zvýraznenie funkčných blokov na DPS .....	31



Obrázok 4.4: DPAK - spôsob chladenia.....	32
Obrázok 5.1: Bloková schéma obvodu nRF2401A [12].....	35
Obrázok 5.2: Príklad posielania dát technológiou ShockBurst™ [12] .....	36
Obrázok 5.3: Spotreba energie pri prenose [12] .....	36
Obrázok 5.4: Frekvenčný kanál a smer prenosu [12] .....	37
Obrázok 5.5: Medzera pred konfiguráciou obvodu nRF2401A [12] .....	39
Obrázok 5.6: Časovanie konfigurácie obvodu nRF2401A [12] .....	40
Obrázok 5.7: Formát DMX paketu prenášaného obvodom nRF.....	41
Obrázok 5.8: Časovanie vysielania dát v režime ShockBurst™ [12] .....	41
Obrázok 5.9: Formát nRF paketu.....	42
Obrázok 5.10: Komunikácia medzi nRF2401A a HCS08.....	47
Obrázok 5.11: Synchronne sériový prenos [13].....	47
Obrázok 5.12: Komunikácia na rozhraní SPI [13].....	48
Obrázok 5.13: Pripojenie nRF na SPI zbernicu [14] .....	49
Obrázok 5.14: Pripojenie DMX k SCI.....	50
Obrázok 6.1: Príjem DMX paketu .....	52
Obrázok 6.2: Vysielanie dát v režime ShockBurst™ [12].....	54
Obrázok 6.3: Prijímanie dát v režime ShockBurst™ [12].....	55
Obrázok 6.4: Formát DMX paketu prenášaného obvodom nRF.....	56
Obrázok 6.5: Formát nRF paketu.....	56
Obrázok 7.1: Chovanie obvodu na spektrálnom analyzátore pri nedodržaní časovania pri konfigurácii .....	57
Obrázok 7.2: Vyhľadovací kondenzátor na doske bezdrôtového prenosu .....	58
Obrázok 7.3: Priebeh vysielania obvodu nRF2401A na spektrálnom analyzátore .....	58

## ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 2.1: Prehľad časovania DMX512/1998 [3] .....	11
Tabuľka 2.2: Zapojenie káblu ku konektoru XLR.....	12
Tabuľka 2.3: Zapojenie redukcie medzi 3 pinovým a 5 pinovým konektorom XLR.....	13
Tabuľka 3.1 Porovnanie ZigBee s ostatnými známymi prenosovými rádiovými technológiami [8].....	21
Tabuľka 3.2: Referenčné údaje obvodu nRF [9] .....	28
Tabuľka 5.1: Konfiguračné slovo obvodu nRF2401A [12].....	38
Tabuľka 5.2: Časovanie obvodu nRF2401A [12] .....	39

# 1 ÚVOD

Inšpiráciu pre vytvorenie zariadenia tohto typu nachádzame priamo v praxi, medzi ľuďmi ktorý sa pohybujú v oblasti ozvučenia a osvetlenia kultúrnych akcií. Keby ste sa spýtali niekoho z praxe, čo je jedna z vecí, ktoré nemá rád, určite by sa v jeho odpovedi nachádzalo slovo káblovanie a zapájanie zariadení. Keby sme sa mali pozrieť s veľkou mierou abstrakcie na jednotlivé zariadenia používané v tomto odvetví, rozdelili by sme vodiče na dve skupiny:

1. napájacie,
2. signálové.

Pričom nahradiť prvú skupinu bezdrôtovou variantov je pri ich energetickej náročnosti zatiaľ nereálne (aj keď som sa už stretol s myšlienkou prenosu napájania pomocou silného elektromagnetického poľa a teda bezdrôtovo). Táto práca je zameraná na druhú skupinu a konkrétne na náhradu signálových káblov svetelných zariadení, ktoré používajú z pohľadu „laika“ rovnaký kábel ako zvukové zariadenia, rozdiel je však v prenášaných dátach. Poveľ k jednotlivým svetelným efektom sa prenášajú (dnes vo väčšej miere) sériovým protokolom **DMX 512**. Tie kvalitnejšie samozrejme disponujú rozhraním „ethernet“ a pod.

Prvá polovica práce je venovaná teoretickému rozboru danej problematiky, čo bolo náplňou Semestrálneho projektu. Pri návrhu vstavaných systémov je dobré dodržiavať určité zásady a jednou z nich je predbežná štúdia danej problematiky z ktorej potom vychádza návrh a realizácia systému. Aj keď je tento krok veľakrát podceňovaný a prechádza sa priamo na návrh, dovoľm si povedať, že jeden z najdôležitejších, pretože dovoľuje už na počiatku vývoja zmeniť „myšlienku“ a tým zamedziť zlému návrhu a nebudaj samotnej realizácii vstavaného systému (ďalej **ES** – Embeddet System). Tento čas strávený nad teoretickou štúdiou nám môže vrátiť veľa úsilia pri zistení a náprave nejakej chyby už v spomínanom návrhu a z pohľadu financií ušetrí aj veľa finančných zdrojov. Preto si dokument rozdelíme na kapitoly, v ktorých postupne teoreticky rozoberiem jednotlivé problematiky, ktoré dá sa povedať, reprezentujú jednotlivé časti ES. Druhá polovica je venovaná praktickej realizácii systému a v dokumente budú spomenuté základné poznatky pri tvorbe a výsledky získané testovaním vyvíjaného systému.

Dozvieme sa čo je vlastne samotný signál DMX512, oblasť jeho použitia a v závere kapitoly možnosťami jeho prenosu. Pre určitú predstavu by sme si mohli povedať na úvod, že DMX512 je digitálny protokol pre ovládanie svetelných zariadení. Jeho elektrická špecifikácia vychádza zo štandardu EIA485. Tento protokol sa stáva štandardom pre nasledujúce obdobie.

Ďalšia kapitola vychádza z vedomostí získaných v predošlej kapitole. Podľa týchto informácií a z toho vyplývajúcich požiadaviek a obmedzení systému sme schopní zvoliť vhodnú architektúru pre riadenie a spracovanie signálu. Z názvu projektu vyplýva, že požadujeme bezdrôtový prenos, preto v tejto kapitole zväžíme akú technológiu bezdrôtového prenosu digitálneho signálu zvolíme. Naznačí, že vhodnou oblasťou je štandard IEEE 802.

Z teoretického pohľadu sa pozrieme aj na samotnú realizáciu systému, konkrétne na problematiku dosky plošného spoja (ďalej DPS). Z dostupných nástrojov sme použili systém EAGLE (Easily Applicable Graphical Layout Editor), čitateľ tu nájde poznatky pri tvorbe DPS.

V druhej polovici neostaneme len pri teórii a navrhujeme blokovú schému požadovaného systému. Navyše poskytneme detailnejší pohľad na jednotlivé bloky a ich realizáciu pomocou dostupných integrovaných obvodov, presnejšie transceiver **nRF2401** a mikrokontrolér **HCS08**.

V ďalšej kapitole naznačíme problematiku softwaru (firmwaru) pre navrhnutý systém. Úlohu si rozdělíme na dve časti, tá prvá sa bude venovať spracovaniu signálu DMX512 a druhá návrhom softwaru (komunikačný protokol), ktorý zabezpečuje bezdrôtový prenos prostredníctvom transceiveru nRF2401.

V krátkosti spomenieme úskalia testovania a oživenia systému a ukážeme si, čo môže spôsobiť nedodržanie správneho časovania.

V závere uvedieme namerané výsledky a vlastnosti danej hardwarovej konfigurácie systému a vytvoreného komunikačného protokolu (dosah signálu, topológia siete, odolnosť voči rušeniu, ...). Zamyslíme nad možnosťami praktického nasadenia vytvoreného systému. Jednou z hlavných myšlienok pri tvorbe systému bola myšlienka miniaturizácie systému až do takej miery, aby ho bolo možné umiestniť do samotného konektoru XLR. V ďalšom vývoji za základ tohto „inteligentného konektoru XLR“ vezmeme jadro systému, ktorý bol predmetom diplomovej práce.

Ako už bolo spomenuté, kapitoly 2 a 3 sú prevzaté a boli teda predmetom Semestrálneho projektu, na ktorý táto práca nadväzuje.

## 2 DMX 512

**Digital Multiple X with 512** individual pieces of information (DMX512) je štandard, ktorý popisuje metódu digitálneho prenosu dát medzi ovládačom a prijímačom (stmievače, inteligentné zariadenia, apod.). Štandard zahŕňa elektrické vlastnosti (využíva štandardu EIA/TIA-485), formát dát, usporiadanie zbernice, prepojenie, atď. [1]

### 2.1 HISTÓRIA VZNIKU

Protokol DMX512 bol navrhnutý v roku 1986 inštitútom USITT - U.S.Institute of Theatre Technology [2] pre riadenie stmievačov a ďalších špeciálnych efektov pomocou digitálneho rozhrania. Mal nahradíť do tej doby používané analógové riadenie, kde ako riadiaca veličina slúžila konkrétna hodnota napätia<sup>1</sup> na riadiacom kábli. S týmto bolo spojených hneď niekoľko problémov: Pre každý riadení vstup (napr. jeden kanál stmievača) bol potrebný jeden vodič, navyše nebola vždy presne daná riadiaca veličina, pretože vplyvom výrobných tolerancií mohli rôzne zariadenia chápať či vydávať odlišné povely. Taktiež analógový prenos bol samozrejme náchylný na rušenie, čo v blízkosti niekoľko kilowattových stmievacích (**výkonových**) jednotiek nebolo práve veľké plus. Základom protokolu DMX512 je jeho elektrická špecifikácia. Tá vychádza z osvedčeného priemyslového štandardu EIA485 (predtým značného RS485 poprípade RS485) a vzhľadom k používaniu tohto štandardu v priemysle sú i technické prostriedky pre jeho implementáciu lacné a prispôsobené pre náročné podmienky.

V roku 1990 bol inštitútom pre divadelné technológie (USITT) tlačený dokument s názvom DMX512/1990, ktorý sa stáva celosvetovým štandardom pre nasledujúce obdobie. V roku 1996 boli zahájené práce na príprave nového protokolu s podmienkami spätnej kompatibility. Posledná verzia sa nazýva DMX512/1998.

#### 2.1.1 TECHNICKÁ ŠPECIFIKÁCIA EIA485

- ◆ Diferenciálny (symetrický) napäťový prenos po krútené dvojlinke so schopnosťou pracovať od napájacieho napätia +5V
- ◆ Rozsah prípustného napätia na zbernici od -7V do +12V
- ◆ Možnosť pripojenia až 32 prijímačov v jednom segmente (existujú budiče, ktoré umožňujú použiť až 256 prijímačov)
- ◆ Impedančné prispôbenie linky – odporom (terminátorom) 120Ω
- ◆ Minimálna zaťažovacia impedancia vysielača je 60Ω
- ◆ Maximálny skratový prúd vysielača je 150mA proti zemi, 250mA proti 12V
- ◆ Maximálna dĺžka kábla je 4000 stop (približne 1200m) pri prenosovej rýchlosti max 400kbit/s
- ◆ Počet segmentov nie je limitovaný
- ◆ Budič musí byť schopný dodať na zbernicu rozdielové vstupné napätie od 1,5 do 5V
- ◆ Budič musí mať ochranu pre prípad, že by sa viac budičov pokúšalo vysielat' na zbernicu

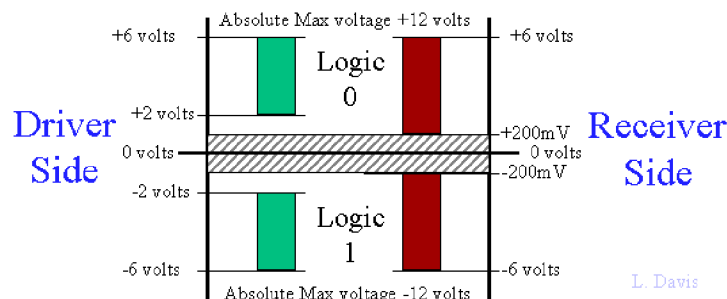
<sup>1</sup> z rozsahu 0-10V

- ◆ Prijímač by mal mať minimálnu vstupnú impedanciu 12k $\Omega$
- ◆ Prijímač musí mať minimálnu vstupnú citlivosť  $\pm 200\text{mV}$
- ◆ Toto všetko musí byť prijímač schopný spracovávať i pri rovnakom jednosmernom napätí na zbernici od -7V do +12V [3]

### 2.1.1.1 BALANCED DIFFERENTIAL SIGNALS

Pre základné zapojenie EIA485 systému potrebujeme IO budič s diferenciálnymi výstupmi a IO prijímač s diferenciálnymi vstupmi. Do prenosového vedenia sa indukuje šum a rušenie. Pretože sa však signál prenáša twisted párom (TP – krútená dvojlinka) vodičov idúcimi rovnakou trasou, je napäťová diferencia (rozdiel napätia medzi A a B) tohto rušenia takmer nulová. Vzhľadom k diferenciálnej funkcii vstupného zosilňovača EIA485 prijímača je toto rušenie eliminované. Platí to tiež pre presluchy zo susedných vodičov a pre akékoľvek iné zdroje šumu, pokiaľ nie sú prekročené napäťové hranice vstupných obvodov prijímacieho IO. Diferenciálny vstup taktiež eliminuje rozdiel zemných potenciálov vysielača a prijímača. Táto vlastnosť je veľmi dôležitá pre komunikáciu medzi rôznorodými systémami, kde by inak vznikali veľké problémy napr. pre rôzne zdroje napájacieho napätia a atď.. Použitie TwistedPair káblov a korektná ukončenie (termination – pre eliminovanie odrazov) dovoľuje rýchlosť prenosu väčšiu ako 10Mbit/s a dĺžky káblov až 1km.

Všetky tieto výhody prinášajú aj niektoré nevýhody. Z dôvodu vyššej zložitosti obvodov pre EIA485 je vyššia i ich cena. Vyššie rýchlosti prenosu dajú vyžadujú korektné zapojenú a prispôbenú termináciu vedenia, čo spôsobuje problém u zapojenia, kde sa mení počet pripojených zariadení. A konečne nutnosť používať TwistedPair vodičov.



Obrázok 2.1: Napäťové úrovne EIA485 [4]

V Balanced differential systéme generuje vysielač napätie od 2 do 7V (približne) medzi A a B výstupmi. Vysielač a prijímač sú síce spojené vodičom GND, ale nepoužíva sa pre určenie logického stavu na AB vodičoch. Z toho teda vyplýva tolerancia rozdielneho zemného potenciálu u vysielača a prijímača. Vysielače EIA485 majú *enable* vstup, ktorý umožňuje nastaviť výstupy do stavu vysokej impedancie a tým zdieľať na jednom TP niekoľko zariadení.

EIA485 prijímače reagujú na rozdiel napätia medzi A a B. Ak je  $V_{AB}$  väčší respektíve menší ako 200mV, potom je na výstupe prijímača definovaná logická úroveň log. 1 respektíve log. 0.

Ako prevodníky medzi úrovňou TTL a EIA485 sú bežne dostupné obvody napr. SN75176B od *Texas Instruments* v prevedení DIP 8 či SOP 8, alebo drahšie a menej dostupné obvody MAX485 od *Maxim Integrated Products*. Pre galvanické oddelenie existuje rada ďalších obvodov, ktoré majú

všetko potrebné na jednom čipe. Ide napríklad o obvody ISO485P od *Burr-Brown*. Tento systém bude používať obvod od firmy *MAXIM* a konkrétne MAX3075E, ktorý bude podrobnejšie popísaný v kapitole venovanej výberu komponent systému.

## 2.2 POPIS DÁTOVÉHO FORMÁTU DMX512

Prenosová rýchlosť protokolu DMX512 bola stanovená na **250kbit/s**, to znamená, že jeden bit má dĺžku 4 $\mu$ s. Dáta sú po zbernici prenášané sériovo asynchrónnym spôsobom a ako názov napovedá, paketom obsahujúcim maximálne 512 dátových bajtov. Dĺžka jedného slova je 8 bitov, to znamená, že môžeme rozlíšiť 256 rôznych stavov. Aj keď sa na prvý pohľad rozlíšenie zdá byť dostatočné, pre niektoré zariadenia, vyžadujúce presnejšie nastavenie, je možné spojiť 2 slová idúce po sebe v jedno a docieľiť tak výrazne presnejšieho **16 bitového** rozlíšenia. Veľkou výhodou protokolu DMX je, že počet slov v jednej sekvencii nie je pevne určený, iba ohraňovaný 512. Ďalšou výhodou je, že pri vysielaní protokolu sa neprenáša adresa prijímaného zariadenia, ale iba dáta. Úloha vybrať z postupnosti 8 bitových slov práve to, ktoré náleží konkrétnemu zariadeniu, je vecou obslužného prijímača. Každé zariadenie má nastavenú svoju vlastnú počítačnú adresu a od tejto adresy prečíta požadovaný počet bajtov a preniesie ho do riadiacej časti. Počítačová adresa môže teda nadobúdať hodnotu 0 až 511. [5]

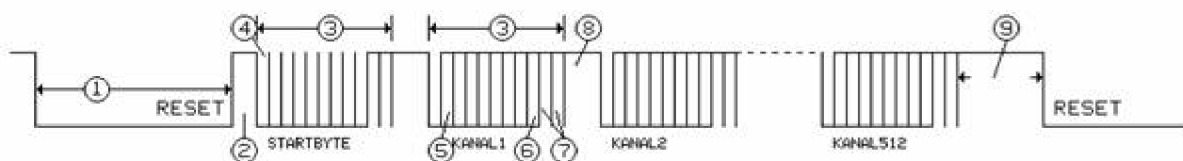
Prijímač môže byť akékoľvek zariadenie kompatibilné s protokolom DMX512. Jediné **pyrotechnické** efekty sa **nesmú** pripojovať na zbernicu DMX512, pretože zatiaľ nie je chránená proti prenosu chybných informácií a mohlo by dôjsť k nechcenému odpáleniu. [5] Z praktického hľadiska je použitie zbernice DMX512 veľmi jednoduché. Ak budú mať dve rovnaké zariadenia rovnakú adresu, budú tiež na posielané povelý reagovať *spoločne*. Tak je možné pripojiť ku zbernici i viac zariadení – za predpokladu, že bude ich funkcia spoločná.



Obrázok 2.2: Rôzne spôsoby nastavenia adresy zariadenia (grafický alebo alfanumerický displej, DIP)

Časovanie v protokole DMX512 je zobrazené na *obrázku 2.3* a príslušné hodnoty sú v *tabuľke 2.1*. Prenos je realizovaný **asynchrónne** a jeho začiatok je synchronizovaný úrovňou „Break“ (*Reset*), ktorá musí trvať najmenej 88ms a nasledujúcou synchronizačnou medzerou *MAB* (*Mark After Break*) s vysokou úrovňou a minimálnou dĺžkou trvania 8ms. Ďalej nasleduje prvý poslaný rámec (*start code*) a za ním zvyšných 512 dátových rámcov. Každý rámec (prenesený bajt) sa skladá z jedného

start bitu, ôsmich dátových bitov bez parity a dvoma stop bitmi. Medzi jednotlivými rámcami môžu byť medzery MTBF (Mark Time Between Frames) a MTBP (Mark Time Between Packet) v dĺžke najviac 1s.



Obrázok 2.3: Časový diagram prenosu jedného dátového paketu v protokole DMX512 [3]

číslo	Popis	Min.	Typ.	Max.	Jednotka
1	Break (Reset)	88	-	88	μs
2	MAB (synch. medzera)	8	-	1	s
3	Rámec	43,12	44	44,48	μs
4	Start bit	3.92	4	4.08	μs
5	LSB (prvý dat. bit)	3.92	4	4.08	μs
6	MSB (posledný dat. bit)	3.92	4	4.08	μs
7	Stop bit	3.92	4	4.08	μs
8	MTBF (medzera medzi rámcami)	0	0	1	s
9	MTBF	0	0	1	s

Tabuľka 2.1: Prehľad časovania DMX512/1998 [3]

Z prenosovej rýchlosti 250kbit/s vyplývajú nasledujúce časové údaje: Doba trvania jedného bitu je 4ms a dátového rámca 44μs (11 bitov). Celý prenos s celkovým počtom 512 dátových bajtov má dĺžku trvania danú nasledujúcou rovnicou:

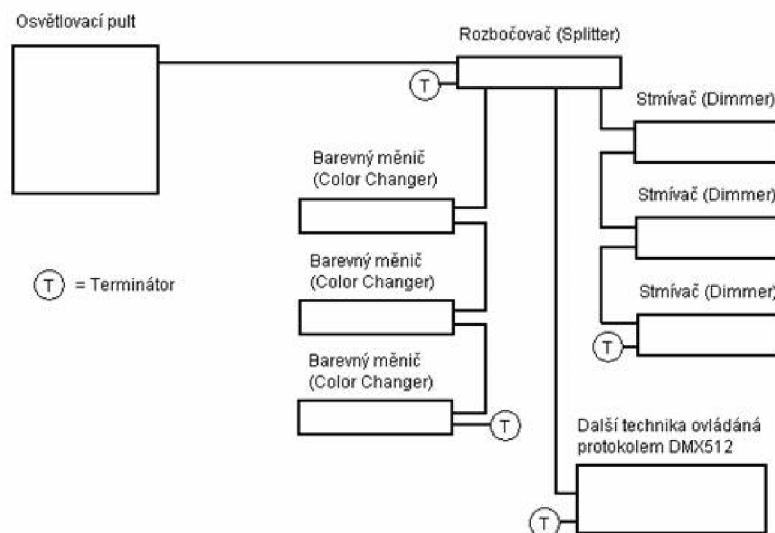
$$Break + MAB + (1 + 512) * rámec = 88 + 8 + 513 * 44 = 22668\mu s [3]$$

Z toho vyplýva najvyššia opakovacia frekvencia približne 44,12Hz pri plne využitej zbernici.

Ďalšie stavy, ktoré sa môžu na zbernici objaviť, sú dlhodobý výskyt vysokej, alebo nízkej úrovne. Ak je avšak dlhší ako 1s, je stav vyhodnotený ako strata signálu. Reakcia na tento stav je ponechaná na zvolení výrobcu. Často zariadenia zotrávajú v naposledy nastavenej pozícii, niekedy sa resetujú. Samotné moduly sú zapojené v topológii zbernice, kde na strane vysielača a prijímača musí byť ukončovací odpor (terminátor). Je možné použiť taktiež rozbočovač (splitter) a opakovač (repeater). Príklad takéhoto zapojenia modulov je uvedený na nasledujúcom obrázku.

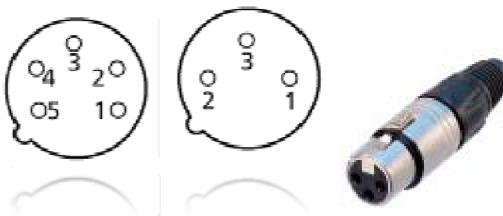
Ako už bolo v úvode povedané, pre prepojenie sa používa symetrický kábel, teda dva aktívne dátové vodiče so spoločným tienením. Podľa normy DMX512/1998 je štandardný konektor päťpinový XLR, kde je zásuvka na strane vysielača a vidlica na strane prijímača, avšak v praxi sa skôr používa trojpinová verzia konektoru XLR.





Obrázok 2.4: Zapojenie zbernice DMX512 [3]

Pre prepojenie modulov je niekedy navrhované použitie symetrického mikrofónového káblu. V tomto prípade je ale dôležité skontrolovať, či nie je tienenie zapojené na kostru konektoru. Správne podľa normy musí byť na *pine číslo 1*. Podľa niektorých výrobcov prípadné prepojenie tienenia na kovový kryt konektoru môže zapríčiniť skrat, alebo nevyspytateľné chovanie. Zapojenie konektoru XLR je zobrazené na *obrázku 2.5*, zapojenie prepojovacieho kábla v *tabuľke 2.2* a zapojenie redukcie medzi tri a päťpinovým konektorom je v *tabuľke 2.2*. [3]



Obrázok 2.5: Rozmiestnenie pinov na konektore XLR 5-Pin a 3-Pin

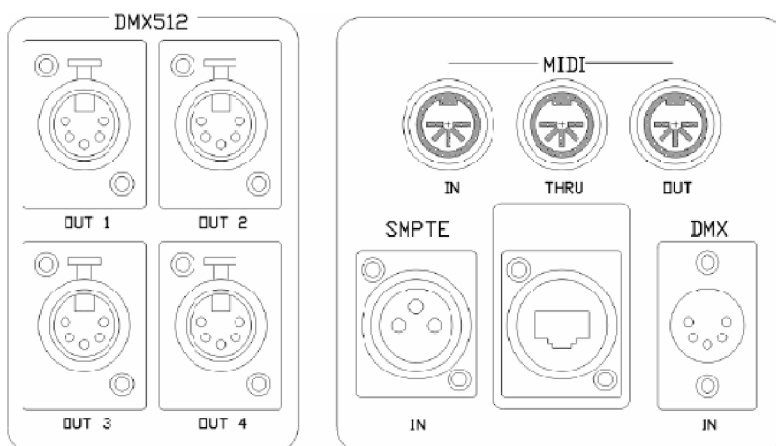
Pin	Vodič	Signál
1	Tienenie	GND / 0V
2	1. pár (black)	Dáta-
3	1. pár (white)	Dáta+
4 (už sa nepoužíva)	2. pár (green)	Dáta2-
5 (už sa nepoužíva)	2. pár (red)	Dáta2+

Tabuľka 2.2: Zapojenie káblu ku konektoru XLR

Vodič	3-Pin XLR zásuvka (výstup)	5-Pin XLR zásuvka (vstup)
GND / Tienenie	Pin 1	Pin 1
Dáta-	Pin 2	Pin 2
Dáta+	Pin 3	Pin 3
Dáta2-	-	Pin 4
Dáta2+	-	Pin 5

Tabuľka 2.3: Zapojenie redukcie medzi 3 pinovým a 5 pinovým konektorom XLR

Protokol DMX sa skladá z prúdu dát a je posielaný cez kábel pripojený cez dátový vysielateľ (obvykle konzola) a prijímač (napríklad stmievač). Jeden DMX port môže obsahovať maximálne 512 kanálov. Tento port sa nazýva DMX zbernica. Pokiaľ potrebujeme použiť viac ako 512 kanálov, musíme použiť ďalší port. Počet zberníc nie je obmedzený. Napríklad SGM Regia Live má 4 DMX512 kanálov, to znamená, že môže pripojiť  $4 \cdot 512 = 2048$  stmievačov. Jediným obmedzujúcim faktorom pre používanie viacerých kanálov je rýchlosť spracovania.



Obrázok 2.6: Rozhranie svetelného pultu SGM Regia

## 2.2.1 PREHLAD JEDNOTLIVÝCH KOMPONENT DMX ZBERNICE

- ◆ **Multiplexor / demultiplexor** – zariadenie slúži k prevodu analógového signálu 0/10V na protokol DMX512 a späť.
- ◆ **Splitter** – slúži k rozdeleniu totožného signálu DMX do viacej vetví.
- ◆ **Optoizolátor** – slúži ku galvanickému oddeleniu jednotlivých línií celého reťazca kvôli zabráneniu vzniku zemných slučiek.



- ◆ **Kabeláž** – slúži na samotné prepojenie, v tejto práci smerujeme k nahradeniu štandardných káblov **bezdrôtovou variantov**. Pri kábloch je potrebné zo skúsenosti z praxe ešte dodať, že je vždy lepšie používať kvalitnú značkovú kabeláž (*Sommer cable, Tasker, Klotz, Zeck* apod.). Bežne sa používa spomínaný štandardný mikrofónový kábel z produkcie spomínaných firiem.



- ◆ **Konektory** – pre prepojovanie DMX liniek prežil jediný štandard a to je konektor XLR (v minulosti aj konektor *STEREO JACK 6,3*) v prevedení tri alebo päťpólovom. Vzhľadom k potrebám kvalitného spoja, je opäť vhodné používanie kvalitných značkových konektorov (*Neutrik, Amphenol, Switchcraft* a pod.)



- ◆ **Stmievače** (výkonové jednotky) – jedna polovica srdca celého osvetľova-cieho systému. Tou druhou sú ovládacie pulty. Javiskové osvetlenie bolo v minulosti bez použitia výkonovej polovodičovej techniky (IGBT tranzistory, triaky, tyristory) záležitosťou skôr mechanicou a silnoprúdovou. Pretože stmievač bol tvorený v podstate iba obrovským reostatom, ktorý musel v najhoršom prípade zniesť až štvrtinu zaťaženia samotného osvetľovacieho telesa, preto bolo ohrievaná hlavne obsluha stmievača. Moderný spôsob stmievania je možné u statických svetiel riadiť obvykle diaľkovo elektronickým stmievačom – tzv. *dimmerom*, obvykle v 19 palcovom racku, ktorý je tvorený buď tranzistorovými pulznými, častejšie ale triakovými obvodmi. Kvalita stmievačov sa hodnotí nielen podľa výkonu, ale hlavne podľa veľkosti elektromagnetického rušenia, ktoré produkujú. V praxi sa prejavuje pomerne silným hučaním vo zvukovom systéme, pokiaľ sú obidva systémy pripojené na jeden rozvod. Okrem rušenia majú stmievače ešte ďalšiu nevýhodu. U žiarovkového osvetlenia znižujú spolu s efektívnou hodnotou napätia taktiež teplotu bieleho svetla smerom k červenej farbe. Bohužiaľ s nimi nie je možné stmievať výbojkové svetlá, ktoré sú stmievané pomocou mechanických stmievačov v podobe rôznych klapiek, alebo nožníc zasunovaných do seba. [6]



Obrázok 2.7: Výkonová jednotka LitePuter LX1220, ktorú som osadil a zapojil do caseu s istením a DMX splitterom

## 2.2.2 TYPY SVETIEL A OSVETĽOVACÍCH TELIES

### 2.2.2.1 KONVENČNÉ SVIETIDLÁ

Na začiatok je potrebné povedať, že tieto svetlá obsahujú ako zdroj svetla vlákňovú žiarovku a teda pomocou vyššie popisovaných stmievačov je ich možné riadiť na diaľku. Protokol DMX512 riadi dimmer a ten výkonovo mení intenzitu príslušného kanála (mení výstupný výkon), na ktorý je pripojené jedno, resp. viacej konvenčných svetiel (podľa záťaže akú je možné pripojiť na jeden kanál stmievača). Príkladom môžu byť nasledovné svietidlá.

- ◆ **Reflektor s plankonvexnou šošovkou** – toto je základný reflektor s tzv. *Plankonvexnou šošovkou*. Vytvára svetelný kužeľ s ostro ohraničeným okrajom. Je možné regulovať šírku kužeľa, tzv. *divergenciu*. V praxi sa tieto svetidlá umiestňujú na portály, mosty a rampy. Vyrábajú sa v prevedení 500W, 650W, 1000W, 2000W. Reflektor je možné doplniť o rámček na farebný filter a klapkou pre presnejšie smerovanie lúča.
- ◆ **Reflektor s fresnelovou šošovkou** – základný divadelný reflektor s tzv. *fresnelovou šošovkou*, ktorá vytvára mäkký okraj kužeľa, prevedenie je rovnaké ako u predošlého.
- ◆ **PAR** – *Parabolic Alluminized Reflector* – vyrába sa v prevedení od 75 do 1000W a v dvoch štandardných veľkostiach 4,5 a 8 palcov. Najpoužívanejším je PAR 64 (8 palcov), je to zároveň najpoužívanejšie svetlo na pódiumoch.



Obrázok 2.8: FHR 500



Obrázok 2.9: GHR 500



Obrázok 2.10: 6x PAR 64 upevnených na rahne

### 2.2.2.2 INTELIGENTNÉ SVTELÁ

Pojem inteligentné súvisí s tým, že svetlá v sebe obsahujú určitú formu inteligencie, v drvivej väčšine je to mikroprocesor, ktorý dokáže prijímať protokol DMX512 a podľa toho meniť funkciu svetla (pohyb krokového motora). Z toho vyplýva, že nepotrebujú pre svoju funkčnosť dimmer (môžu mať spomínaný mechanický dimmer, respektíve vlastný elektronický) a sú teda samostatná jednotka na zbernici DMX. Uvedieme príklady najznámejších inteligentných svetiel.

- ◆ **Scanner** – jedná sa o svetlo, ktoré bolo pôvodne vytvorené pre diskotéky, ale s rastúcimi nárokmi na efektívnosť divadelného svietenia sa presadzujú i na klasických scénach. Je to typ svetla s pevným zdrojom a pohyblivým zrkadlom. To znamená, že svetelný lúč je od zdroja, ktorým je najčastejšie HMI výbojka, prenášaný na zrkadlo, ktoré sa pomocou krokového pohonu pohybuje. Samozrejmosťou u scanneru je diaľkovo meniť farby (buď niekoľko pevných, alebo u vyšších modelov možnosť namiešať akúkoľvek farbu), goba<sup>2</sup>, možnosť strobo efektu. Všetko toto je riadené pomocou protokolu DMX512.



Obrázok 2.11: ROBE 1200XT

<sup>2</sup> plechový, či sklenený kruh, v ktorom je vyseknutá alebo vypálená obrazová predloha

- ◆ **Otočná hlavica** – momentálne sa jedná o štandard v osvetľovacej technike. Je to svetlo, kde sa pohybuje celé telo svetla včítane zdroja. Má niekoľko obrovských výhod, vďaka ktorým ich nájdeme praktický na všetkých koncertných javiskách a muzikáloch. Presadzujú sa i v divadlách. Je to hlavne vďaka kvalitnému riadeniu, nízke spotrebe, možnostiam pohybu a farebným zmenám. Na nasvietenie by sme spotrebovali menej svetiel, pretože hlavica sa behom okamžiku prestaví na inú scénu.



Obrázok 2.12: ROBE CS1200AT

### 2.2.3 DOPORUČENIE PRI KONŠTRUKCII

1. Na jeden budič môže byť pripojených maximálne 32 prijímačov.
2. Zvyškový prúd budiča musí byť v stave OFF (vypnuté) pri každom napätí zbernice medzi -7V a 12V menší ako 100mA.
3. Budič musí byť schopný dodať na zbernicu rozdielové vstupné napätie od 1,5 do 5V pri spoločnom napätí zbernice od -7V do +12V .
4. Budič musí mať ochranu pre prípad, že by sa viacej budičov pokúšalo vysielat' na zbernicu.
5. Prijímač musí byť schopný spracovať vstupný signál i pri spoločnom jednosmernom napätí na zbernici od -7V do +12V.
6. Prijímač by mal mať minimálnu vstupnú impedanciu 120Ω.
7. Prijímač musí mať minimálnu vstupnú citlivosť  $\pm 200\text{mV}$  pre celé pásmo jednosmerného napätia na zbernici v rozsahu od -7V do 12V. [5]

### 2.2.4 DOPLŇUJÚCE INFORMÁCIE

8. Nevyužívať plnú kapacitu zbernice 512 rámcov. Nevysielané rámce skráti dĺžku celého prenosového cyklu a zvýšia spoľahlivosť celého systému.
9. Vstupy a výstupy zbernice navrhovať galvanicky oddelené (napr. optočleny). Norma DMX512 to síce výslovne neprikazuje, ale v praxi sa svetelná réžia a výkonové jednotky nachádzajú na inej sieti. Je preto viac než požadované vyhnúť sa prípadným problémom so spoločnou zemou.
10. Vstupy a výstupy zariadení opatřit ochranou proti napäťovému preťaženiu. [5]

### 2.2.5 NOVINKY V NORME DMX512/1998

#### ČASOVANIE

Pre signál *RESET* zostáva stále minimálna dĺžka 88μs, ale pre spoľahlivejšie rozpoznávanie začiatku prenosu sa doporučuje tento čas predĺžiť na 120μs. Ďalšou novinkou je definícia výpadku prenosu. Maximálny čas medzi 2 resetmi je obmedzený na 1,025s. Pokiaľ v tejto dobe prijímač nerozozná signál *RESET* s nasledujúcim nulovým bytom, považuje signál za prerušený. Ako sa prijímač v tento moment zachová, norma nešpecifikuje. Obecne sa dá povedať, že zmeny sú skôr kozmetické. Prístroje by mali z dôvodu korektúr v časovaní byť stabilnejšie. Hlavná zmena je v 5 pinových konektoroch. [5]

## 3 ARCHITEKTÚRA SYTÉMU

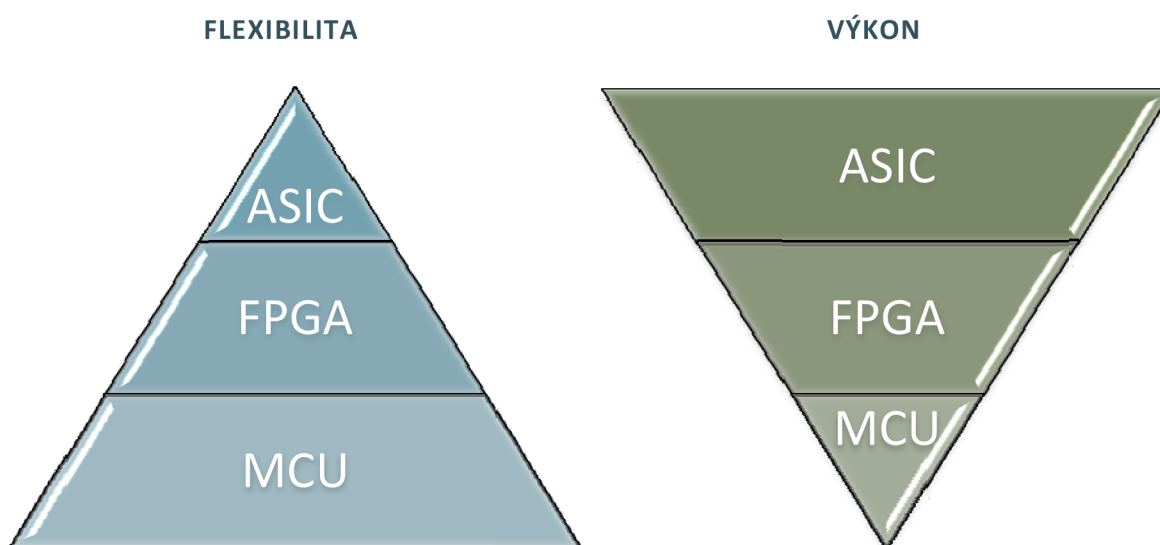
Architektúrou myslíme v tomto dokumente použité integrované obvody, konkrétne sme zvolili mikrokontrolér na riadenie a spracovanie signálu a digitálny transceiver na bezdrôtový prenos spracovaného toku dát (vo forme rámcov, respektíve dátových paketov).

### 3.1 RIADENIE A SPRACOVANIE SIGNÁLU

Pri výbere vhodnej platformy sme prihliadli na určité aspekty, ktoré zúžili výber vhodnej platformy, pretože dnešný trh ponúka širokú škálu možností a je veľmi ťažké vybrať tú najvhodnejšiu.

#### 3.1.1 VÝBER VHODNEJ TECHNOLOGIE

Prvou otázkou bolo, ktorú technológiu pre riadenie si zvoliť. Keď sa zamyslíme, tak technológie môžeme na vysokej úrovni rozdeliť podľa dvoch kritérií. Na nasledujúcom obrázku je vidieť vzťah jednotlivých technológií vzhľadom k výkonu a flexibilitě. Rýchlosť prenosu DMX512 bola stanovená na 250kbit/s, čo v dnešnej dobe môžeme považovať za relatívne pomalý tok. Navyše pri riadení a spracovaní požadujeme vysokú flexibilitu, pretože komunikačný protokol medzi zariadeniami sa bude postupne vyvíjať a tým obohacovať zariadenie o nové možnosti (topológia siete, zabezpečenie prenosu, detekcia a zotavenie z chýb, ...). Z týchto dôvodov teda vyplynul jasný víťaz. Zvolili sme mikrokontrolér (MCU<sup>3</sup>) ako jednotku pre riadenie a spracovanie.



Obrázok 3.1: Porovnanie technológií

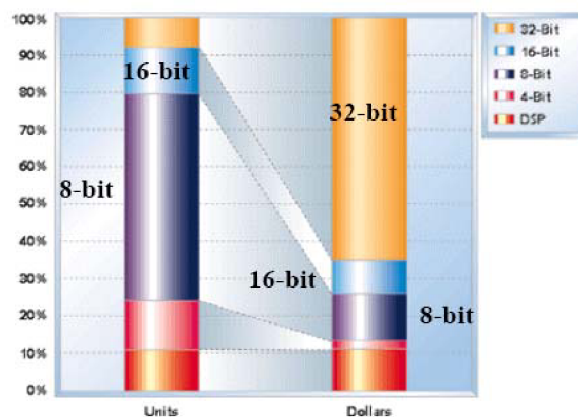
#### 3.1.2 VÝBER PLATFORMY PRE RIADENIE A SPRACOVANIE

Pri návrhu ES treba v prvom rade zhodnotiť, či je možné aplikáciu s danými požiadavkami realizovať pomocou mikrokontroléru. V prípade, že to možné je, treba sa zaoberať výberom vhodného výrobcu a rodiny MCU, ktorého vlastnosti splňujú v určitej tolerancii požiadavky na navrhovaný ES.

<sup>3</sup> *microcontroller* (MCU alebo  $\mu\text{C}$ ) – počítačový systém na čipe

V súčasnej dobe je k dispozícii bohatý sortiment MCU. Je možné si vybrať vhodný typ takmer na mieru podľa typu a zložitosti riešenej aplikácie. Pri samotnom výbere MCU hrajú rolu predovšetkým požiadavky na pamäť, inštrukčnú sadu, rýchlosť, počet V/V portov, zabudované funkcie mikrokontroléru (A/Č prevodník, čítač/časovač, PWM, WatchDog, LVI, sériové rozhrania), systém prerušenia apod.

CPU jadro býva u jednotlivých členov rodiny rovnaké, líši sa iba výbavou periférnych obvodov a veľkosťou programovej pamäti. Dôležitou charakteristikou je šírka dátovej zbernice podľa ktorej členíme mikrokontroléry na osem-, šestnásť-, tridsaťdva-bitové. Najčastejšie sa používajú osembitové mikropočítače.



Semiconductor units and revenue by type  
Source: <http://www.embedded.com/story/OEG20021217S0039>

Obrázok 3.2: Klasifikácia vstavaných systémov

Pri výbere konkrétnej platformy (výrobca, rodiny) hrá opäť dôležitú úlohu jeden z parametrov protokolu DMX512. Protokol prenáša 8 bitové hodnoty, preto nám postačuje použitie 8 bitového mikrokontroléru. Ďalšou otázkou je výrobca (Microchip, Atmel, Freescale, PIC, ...). Odpoveď na túto otázku nachádzame v predmete NAV, ktorý som absolvoval na FIT VUT. Kde významnú rolu pri výbere vhodnej platformy hrá fakt, či máme skúsenosti a poznáme assembler určitej rodiny a aj keď iný výrobca ponúka niečo viac, úsilie potrebné na zvládnutie novej technológie nás stojí určitý čas a teda aj peniaze. Preto som sa rozhodol pre použitie MCU od firmy *Freescale*. A využijem navrhnutú vývojovú dosku, ktorá bola predmetom mojej bakalárskej práce. Srdcom tohto systému je MCU rodiny HCS08 od spomínanej firmy *Freescale* a typ je **HCS08GT60**.

### 3.1.3 ZÁKLADNÁ CHARAKTERISTIKA MCU HCS08

- ◆ 44-pinové puzdro QFP (Quad Flat Package)
- ◆ 60k programovateľnej FLASH pamäte
- ◆ 4k pamäti RAM
- ◆ 8 kanálový 10 bitový A/Č prevodník (**ATD** – Analog To Digital)
- ◆ 2 moduly sériového asynchrónneho rozhrania (**SCI**)
- ◆ modul sériového synchrónneho rozhrania (**SPI**)
- ◆ viacero zdrojov hodinového signálu (interný generátor, kryštál, rezonátor, externý generátor)

- ◆ vnútorný modul zbernice pracujúci do 100kbps (**IIC**)
- ◆ 3 a 5-kanálový 16-bitový pulzne šírkový modulátor (**PWM**)
- ◆ 8-pinový modul klávesnice s prerušením
- ◆ softwarovo nastaviteľný tzv. *pull-up* na vstupných portoch
- ◆ interný *pull-up* na !RESET a IRQ pinoch

### 3.1.3.1 PROCESOROVÁ JEDNOTKA S08

Medzi typické vlastnosti jadra CPU S08 patrí minimum pracovných registrov (CPU obsahuje len akumulátor, indexový register, SP, PC a príznakový register), čo je ale vyvážené rýchlym a flexibilným prístupom do pamäti (16 adresovacích módov). Je možné pracovať s premennými na priamych adresách, indexovať, pracovať s premennými na zásobníku, či tieto techniky kombinovať. To je zároveň podporené jednotným adresovým priestorom pre pamäť dát, programu i V/V periférie. Inštrukčná sada tak vychádza jednoduchšia a prehľadnejšia.

- ◆ *von Neumannova* architektúra
- ◆ periférie mapované do pamäťového priestoru
- ◆ minimum registrov
- ◆ rýchly (jednocyklový) prístup do pamäti jedným z 16 adresovacích módov
- ◆ podpora premenných na zásobníku
- ◆ až dva prístupy do pamäti v jednej inštrukcii
- ◆ 40 MHz HCS08 CPU
- ◆ HC08 inštrukčná sada s pridanými **BGND** inštrukciami
- ◆ systém ladenia programu na pozadí
- ◆ podpora vyšších jazykov jednotnou pamäťovou štruktúrou
- ◆ hardwarové násobenie a delenie
- ◆ podpora 32 zdrojov prerušení/resetov
- ◆ prepínanie celého obvodu do režimu so zníženou spotrebou (WAIT a 3x STOP mód)

### 3.1.3.2 FLASH – PAMÄŤ PROGRAMU

Zo zaujímavých vlastností HCS08 stojí za zmienku pamäť FLASH. Zároveň s vlastnou pamäťou je na čipe inštalovaný ako periféria tiež programátor včítane nábojovej pumpy, takže je možné jednak mikrokontrolér programovať bez potreby špeciálneho a zvláštneho napájania a navyše môže i užívateľský program behom normálnej činnosti s pamäťou FLASH pracovať. Môže takto emulovať pamäť EEPROM, zapisovať do FLASH prevádzkové informácie (použijeme pri uchovaní nastavenia RJ klimatizácie), či sám seba prepísať novšou verziou (je možné implementovať *bootstrap*, apod.).

### 3.1.3.3 VLASTNOSTI FLASH PAMÄTI

- ◆ vnútorný programátor
- ◆ mazanie po stránkach
- ◆ mazanie celej FLASH
- ◆ programovanie po bytoch
- ◆ je možné emulovať EEPROM



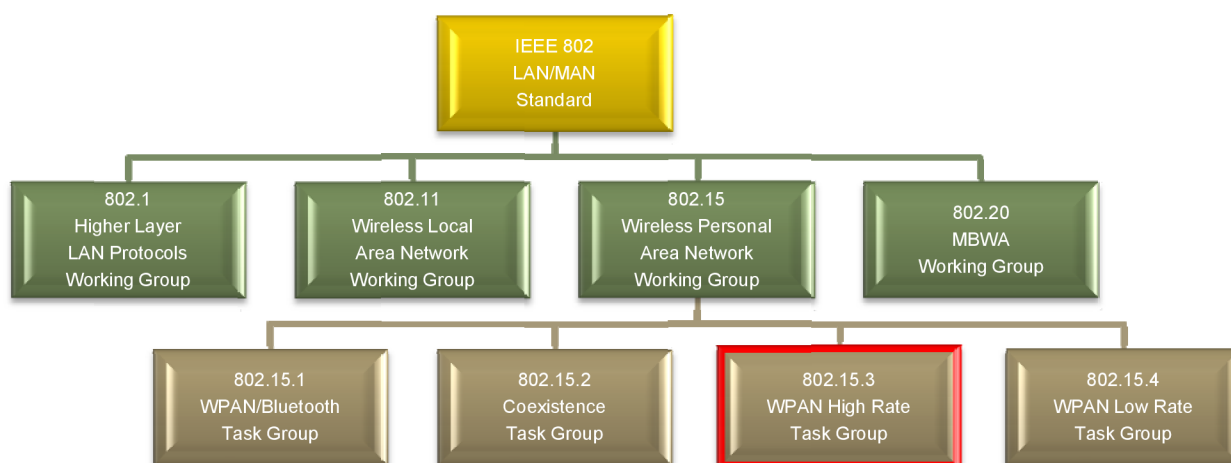
- ◆ časť pamäti je možné uzamknúť proti nechcenému prepisu (odomknutie je možné za zvláštnych podmienok)
- ◆ garantované 100 000 prepisov a 10 rokov udržania informácie v celom teplotnom rozsahu (pri priaznivých podmienkach potom vychádza počet prepisov a doba uchovania informácie o niekoľko rádov väčšia) [7]

## 3.2 BEZDRÔTOVÝ PRENOS SIGNÁLU

Spracované dáta sa odosielajú z MCU po SPI<sup>4</sup> do bezdrôtového modulu, ten slúži ako náhrada káblovej varianty zbernice DMX512. Aj v tomto prípade je voľba modulu pri dnešnej ponuke trhu zložitá, ale podľa rýchlosti, vlastnostiach DMX a požiadaviek na zariadenie sa ukazujú ako rozumné dve voľby:

1. WPAN<sup>5</sup> štandard IEEE 802.15.4/ZigBee
2. The Nordic Semiconductor nRF2401A nízkokříkonový 2.4GHz transceiver

### 3.2.1 IEEE 802.15.4/ZIGBEE A OBVODY FREESCALE



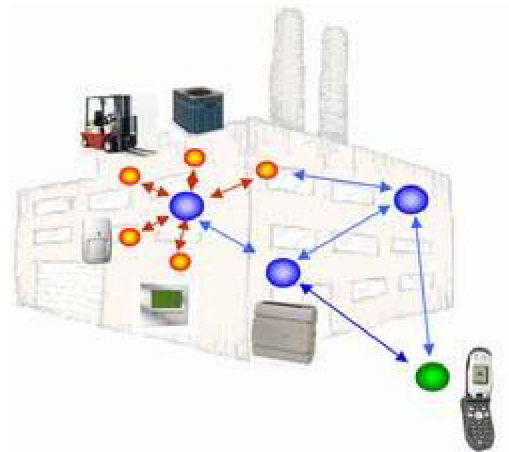
Obrázok 3.3: Štandard IEEE 802 [15]

Pojem „bezdrôtová rádiová komunikácia (RF)“ zahrňuje dnes už veľké množstvo rôznych štandardov poskytujúcich rôznu schopnosť sieťovej komunikácie, zložitost', dosah a zabezpečenie prenosu dát proti nechcenému rušeniu alebo neoprávnenému prečítaniu. Zatiaľ čo v spotrebnej elektronike sa zaužíval štandard *Bluetooth* pre komunikáciu na krátke vzdialenosti do niekoľko metrov, *WiFi* pre rýchly prenos dát až stovky metrov sa stáva populárny už aj v priemyslových aplikáciách, kde sa zatiaľ bezdrôtový prenos moc nevyužíval alebo len v jednoduchej podobe komunikácie zariadenie - zariadenie (point-to-point) ako priama náhrada prepojavacieho káblu. Technológia *WiFi* sa však obecnne vyznačujú dosť veľkou spotrebou elektrickej energie a zložitost'ou. Do oblasti RF prenosu dát sa tak snaží presadiť ďalšie moderné štandardy a technológie, ako je napríklad *ZigBee*. [8]

<sup>4</sup> Serial Peripheral Interface

<sup>5</sup> Wireless Personal Area Network

ZigBee už hlavne v sensorike a v oblasti MaR začína byť stále viac populárnejší, pretože poskytuje ako možnosť bod-bod (point-to-point), tak i sieťové (network) komunikácie (hviezda, strom, MESH) až 256 jednotiek so zabezpečeným prenosom a zároveň nízkou spotrebou pri dosahu mnoho desiatok metrov. Jednoduchá štruktúra umožňuje implementáciu tzv. ZigBee Stacku do bežného MCU (napr. typu ATMEL), teda samozrejme mimo fyzickej rádiových frekvencnej časti realizovanej špeciálnym integrovaným transceiverom, zaisťujúcim prenos podľa normy IEEE 802.15.4.

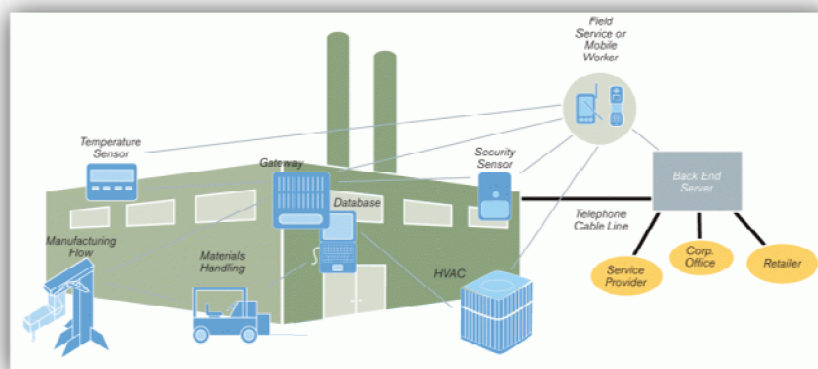


Obchodní jméno Standard	GPRS/GSM 1xRTT/CDMA	Wi-Fi™ 802.11b	Bluetooth™ 802.15.1	ZigBee™ 802.15.4
Aplikační zaměření	Široké oblasti Hlas & Data	Web, Email, Video	Náhrada za kabel	Monitorování & Řízení
Systémové zdroje (paměť)	16MB a více	1MB a více	250KB a více	4KB - 32KB
Životnost baterií (dny)	1-7	0.5 - 5	1 - 7	100 – 1 000 i více
Max. velikost sítě (počet uzlů/sítě)	1	32	7	65 000 ( příp. až 2 <sup>64</sup> )
Přenosová rychlost (Kb/s)	64 – 128	11 000	720	20 - 250
Komunikační dosah (m)	1 000 i více	1 - 100	1 - 10	1 – 100
Výhody	Dosažitelnost, Kvalita	Rychlost, Flexibilita	Cena, Jednoduchost	Spolehlivost, Výkon/Cena

Tabuľka 3.1 Porovnanie ZigBee s ostatnými známymi prenosovými rádiovými technológiami [8]

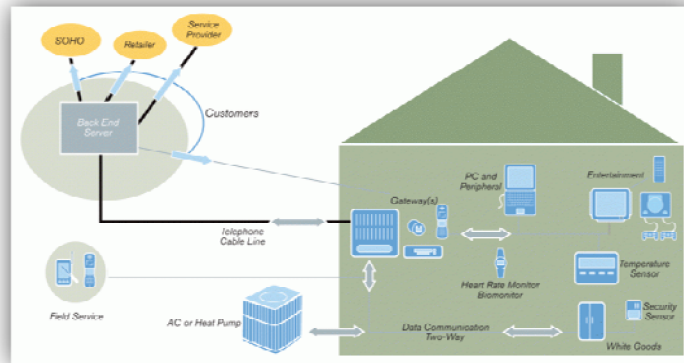
### 3.2.1.1 POUŽITIE ZIGBEE

- ◆ Bezdrôtový prenos dát – náhrada káblu
- ◆ Bezdrôtová sieťová komunikácia



Obrázok 3.4: Príklad ZigBee technológie v priemysle [8]

- ◆ Vzdialené riadenie
- ◆ Zber dát zo senzorov
- ◆ Pohyblivé senzory a zariadenia
- ◆ Zabezpečovacie zariadenia
- ◆ Bezdrôtové HMI rozhranie (HVAC) – ovládanie a riadenie klimatizácie, kúrenia, osvetlenia
- ◆ Zdravotníctvo – bezdrôtový monitoring životných funkcií
- ◆ Športové pomôcky – merače tlaku, tepu a pod. behom pohybu
- ◆ atď.

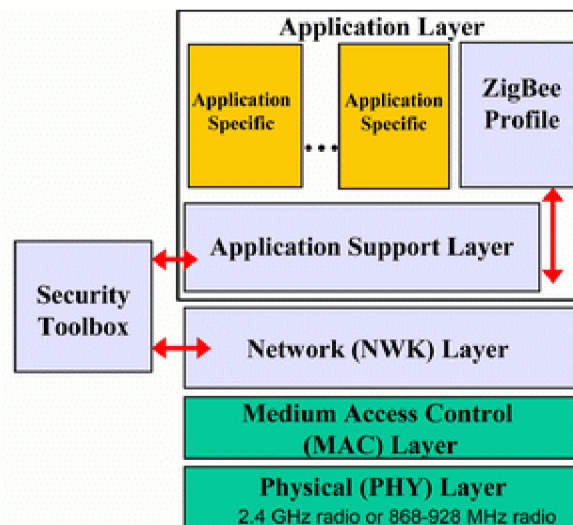


Obrázok 3.5: Príklad v domácnosti [8]

### 3.2.1.2 OBECNÁ ŠTRUKTÚRA ZIGBEE

Rovnako ako každý iný komunikačný štandard i ZigBee je možné popísať OSI modelom. Ten je možné rozdeliť do troch základných blokov podľa toho kým sú definované (obrázok 3.6):

- ◆ IEEE 802.15.4 – definuje fyzickú (**PHY**) a **MAC** (linkovú) vrstvu OSI modelu
- ◆ ZigBee Alliance – definuje sieťovú vrstvu (**NWK**) vyššie vrstvy OSI modelu mimo aplikačnej
- ◆ Zákazník – definuje zákaznícku aplikáciu v aplikačnej vrstve OSI modelu



Obrázok 3.6: OSI model komunikačného protokolu IEEE 802.15.4/ZigBee [8]

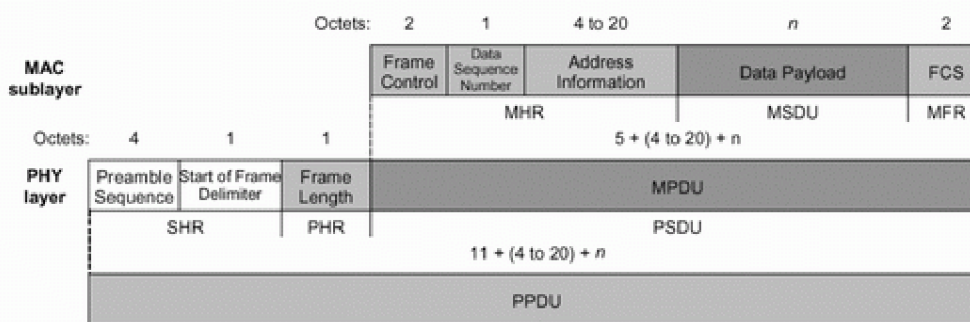
Štandard IEEE 802.15.4 definuje fyzickú (PHY Layer) a linkovú vrstvu (MAC Layer) ZigBee komunikácie. Fyzická vrstva určuje spôsob konkrétnej fyzickej bezdrôtovej komunikácie realizovanej transceiverom, ktorým bolo pridelených niekoľko rádiových pásiem:

- ◆ pásmo ISM 2.4 GHz, 16 kanálov, prenosová rýchlosť 250kb/s, definované celosvetovo
- ◆ pásmo 915 MHz, 10 kanálov, prenosová rýchlosť 40kb/s, definované pre americký kontinent
- ◆ pásmo 868 MHz, 1 kanál, prenosová rýchlosť 20kb/s, definované pre Európu

Pre prenos sa dátový signál moduluje metódou O-QPSK a vzduchom prenáša prostredníctvom DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), teda niečo podobného ako v prípade technológie WiFi. Pre prístup na kanál sa využíva metóda CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance and optional time slotting).

MAC vrstva (linková vrstva) je už definovaná softwarovo a definuje samotnú komunikáciu medzi jednotlivými zariadeniami (uzly siete) prostredníctvom rámcov. Konkrétne sú definované štyri typy komunikačných rámcov (Data Frame, Acknowledgement Frame, MAC Command Frame, Beacon Frame) využívané buď pre prenos užitočných dátových informácií, alebo k režijným účelom súvisiacim so zostavovaním, správou a riadením siete.

Na obrázku 3.7 je blokovo zobrazený dátový rámec (Data Frame) paketu PPDU. Ten je plne definovaný štandardom IEEE 802.15.4 a zložený z časti dodanej MAC vrstvou (MPDU) a fyzickou vrstvou (SHR a PHR). MPDU obsahuje mimo prenášaných dát i informáciu o adrese prijímacej stanice, poradové číslo dátového paketu, riadenie rámcu a kontrolný mechanizmus rámca (FCS). Časť doplnená fyzickou vrstvou obsahuje potrebné informácie pre správny fyzický prenos paketu (informácie o dĺžke rámca, úvodné preambuly po časovej synchronizácii prijímača a informácie o začiatku rámca).



Obrázok 3.7: Štruktúra dátového rámca štandardu ZigBee - ostatné rámce sa líšia len dátami dodanými vrstvou MAC [8]

Štandard IEEE 802:15.4 vyžieva pre adresovanie jednotlivých zariadení binárne adresovacie kódy, ktoré môžu byť buď dlhé (64 bitov), alebo skrátené (16 bitov). Každá zostavená sieť je ďalej identifikovaná 16 bitovým identifikátorom PAN ID (Personal Area Network ID), ktorý slúži pre rozlíšenie prekrývajúcich sa sietí. Z hľadiska topológie sú definované tri typy sietí:

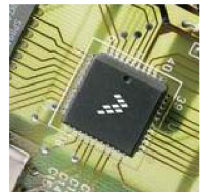
- ◆ Topológia typu hviezda (star topology)
- ◆ Jej úpravou je možné získať topológiu strom (tree topology)
- ◆ Tretia, typická pre ZigBee, MESH topológia je špeciálna kombinácia obidvoch predošlých

Nad vrstvami štandardu IEEE 802.15.4 je definovaná sieťová vrstva (NWK) s štruktúrou pre aplikačnú vrstvu (APL) obvykle obsiahnutá v tzv. ZigBee Stacku. Sieťová vrstva vykonáva pripojovanie k sieti a odpojovanie od nej, zabezpečenie a smerovanie paketov. Ako základný zabezpečovací mechanizmus sa používa 64 bitový alebo 128 bitový kryptografický algoritmus AES (Advanced Encryption Standard). Ďalej zaisťuje nájdenie zariadenia v rámci jedného preskoku. V prípade koordinátora siete je zodpovedná za štart siete a priradzovanie adres novozачleneným zariadeniam.

Aplikačná vrstva ZigBee komunikácie sa tak skladá z pomocnej aplikačnej podvrstvy (Application Support Layer), definičných objektov ZigBee Profile a užívateľských aplikačných objektov/procesov. Aplikačná pomocná podvrstva umožňuje párovanie zariadení podľa poskytovaných služieb a požiadaviek. Objekt ZigBee Profile definuje rolu zariadenia v rámci siete (koordinátor, smerovač, smerovač alebo koncové zariadenie) a poskytované služby. [8]

### 3.2.1.3 OBVODY FREESCALE PRE ZIGBEE

V rámci výrobného programu Freescalu je možné do aplikácie vstavať ZigBee (IEEE 802.15.4) RF komunikáciu v zásade dvomi spôsobmi. Použitím:



- ◆ **integrovaných transceiverov MC1320x a MC1319x** + softwarové realizácia vyšších vrstiev OSI modelu je priamo v CPU alebo MCU už použitých v aplikácii
- ◆ **kompletných obvodov SiP (System-in-a-Package) MC1321x** už obsahujúci v jednej súčiastke ako transceiver, tak MCU s IEEE 802.15.4 MAC a ZigBee Stackom zaisťujúci kompletnú softwarovú realizáciu (adresácia, príkazy a pod.)

Prvá varianta sa hodí pre centrálné riadenie, t.j. pre aplikácie, prístroje a zariadenia, ktoré už v sebe obsahujú nejaký procesor či procesory, ktoré buď nie sú plne využité, alebo napríklad majú priamo riadiť celú komunikáciu. Druhá varianta je ideálna pre aplikácie, kde napr. máme zapúzdrený inteligentný senzor (napríklad akcelerometer, či senzor tlaku Freescale) a chceme pre neho zaisťiť bezdrôtovú komunikáciu medzi ostatnými senzormi alebo s nadradeným prístrojom, ktorý dáta zhromažďuje, ďalej vyhodnocuje alebo zobrazuje. V tomto prípade je možné použiť ZigBee SiP obvod a výstup senzoru napojiť priamo na jeho vstup a doprogramovať ho podľa potreby.

Súčasťou ponuky sú i rôzne softwarové balíčky obsahujúce zdrojové kódy alebo preložené bloky pre ľahkú implementáciu menej či viac zložitého prenosu dát, sieťovej komunikácie a aplikačnej hladiny ZigBee do pripojeného externého radiaceho MCU alebo interného MCU SiP obvodu. Pretože však IEEE 802.15.4 MAC protokol je oficiálne navrhnutý ako komplexný a robustný „stavebný blok“, ktorý tak zaberá väčšie množstvo pamäte (cca 40kB Flash) a výpočtového výkon, ponúka mimo toho Freescale i svoj výrazne jednoduchší SMAC protokol pre jednoduché aplikácie. SMAC síce umožňuje len implementáciu komunikácie topológie bod-bod alebo hviezda, ale zaberá vo Flash pamäti menej ako 2.5kB. Tak je možné jednoduchú komunikáciu implementovať i do rôznych malých MCU doplnených Freescale transceiverom. Ten je ponúkaný ako ANSI C zdrojový kód, zatiaľ čo plný IEEE 802.15.4 MAC protokol a ZigBee Stack ako preložený blok. [8]

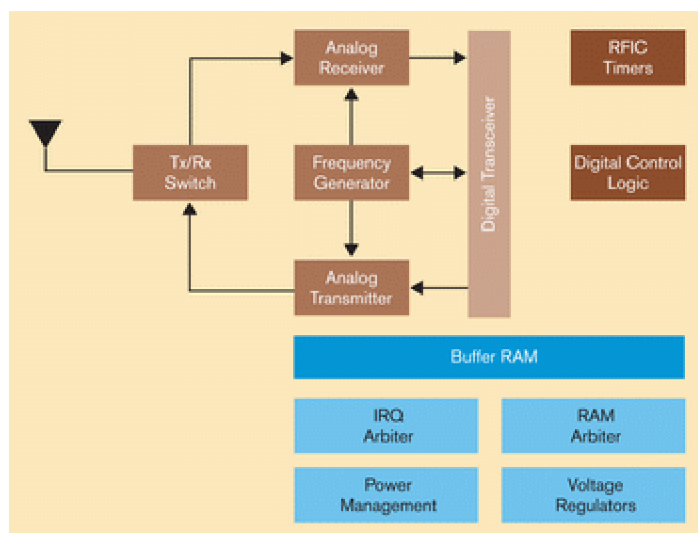
### 3.2.1.4 ZIGBEE TRANSCEIVERS FREESCALE

Pre prípady, že pre realizáciu softwarovej časti ZigBee komunikácie má byť použitý niektorý externý procesor, slúžia v ponuke Freescale kompletne integrované transceivery realizujúce fyzickú prenosovú vrstvu IEEE 802.15.4.

Existujú dve rady:

- ◆ **MC1319x** – transceivery (t.j. prijímače/vysielače) s dvomi oddelenými RF vývodmi pre vysielanie a príjem – full duplex komunikácia
- ◆ **MC1320x** – transceivery s jedným spoločným spínaným RF vývodom – half duplex komunikácia

Výhodou rady MC1320x je teda menší počet externých súčiastok a jednoduchšia doska plošných spojov. V rámci rady sa potom obvody líšia v tom, či podporujú SMAC alebo aj plný IEEE 802.15.4 MAC protokol. Logicky tie iba pre SMAC sú lacnejšie. Inak sú prakticky rovnaké. Pre napojenie transceiveru na MCU a prenos dát medzi nimi slúži SPI rozhranie.



Obrázok 3.8: Bloková schéma jadra transceiverov rady MC1320x [8]

#### ZÁKLADNÉ VLASTNOSTI TRANSCEIVEROV FREESCALE:

- ◆ Vysielač/prijímač a riadenie prenosu podľa IEEE 802.15.4 MAC alebo SMAC
- ◆ Nosná frekvencia 2.4GHz – bezlicenčné ISM pásmo, 16 kanálov šírky 5MHz
- ◆ Prenosová rýchlosť až 250kb/s
- ◆ Citlivosť: -92dBm
- ◆ Integrovaný frekvenčný generátor (Frequency Generator)
- ◆ SPI rozhranie pre príjem/vysielanie dát a ovládanie transceiveru z MCU
- ◆ Rozšírený teplotný rozsah -40 až +80°C pre priemyselné aplikácie
- ◆ Viacúčelové vstupy GPIO
- ◆ Integrovaný napäťový regulátor (Voltage Regulator) – napájanie 2.0 až 3.4V
- ◆ Tri stupne riadenia spotreby (Power Management)
- ◆ Programovateľná frekvencia hodinového signálu

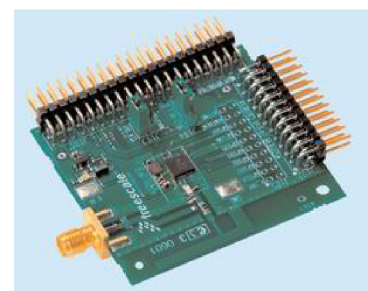
- ◆ Vývod hodinového signálu a integrovaných časovačov (Timers)
- ◆ 32 vývodové púzdro QFN, 5x5mm [8]

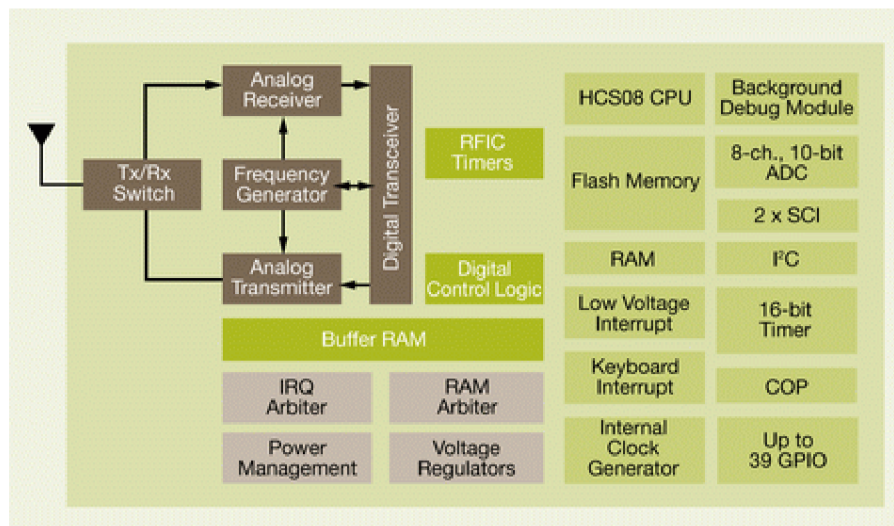
### 3.2.1.5 ZIGBEE SIP OBVODY FREESCALE

Pre potreby kompletnej realizácie ZigBee prostredníctvom jednej súčiastky Freescale ponúka tzv. SiP obvody, ktoré obsahujú všetko potrebné v jednom púzdre (System-in-a-Package). Tu ide prakticky o spojenie už dvoch ponúkaných súčiastok, 2.4GHz transceiveru MC1320x a MCU HCS08GT v 64-pinovom LGA púzdre (9x9x1mm). Výsledkom je rada integrovaných obvodov MC1321x. Napríklad základom všetkých vývojových kitov Freescale pre ZigBee je typ MC13213 s 4kB RAM a 60kB Flash pamäti programovateľné BDM USB ladiacim rozhraním. Ten sa totiž veľkosťou pamäti hodí ako pre realizáciu SMAC, tak i pre IEEE 803.15.4 MAC protokol i kompletný ZigBee Stack. Tie sú ďalej podľa voľby súčastí kitu, ktoré môžu dopĺňať vývojové prostriedky ZigBee Software Tools pre ľahší vývoj a testovanie ZigBee komunikácie.

#### ZÁKLADNÉ PARAMETRE OBVODOV SIP MC1321X

- ◆ RF časť:
  - IEEE 802.15.4 transceiver 2.4 GHz
  - 16 kanálov
  - 250kb/s
  - Programovateľný výstup -27dBm až +4dBm
  - Integrovaný prepínač vysielanie/prijem
  - Integrovaný 16 MHz kryštálový oscilátor
- ◆ MCU časť:
  - Nízkopríkonový 40MHz HCS08
  - Až 60kB Flash a 4kB RAM (podľa typu obvodu)
  - 16-bitové časovače
  - Sériové rozhranie I2C, SCI až 115.2kBaud
  - 8-kanálový 10bit. A/D prevodník
  - 8-pinové rozhraní pre klávesnicu
  - In system programovanie BDM
  - Watchdog COP
- ◆ Pracovná teplota: -40 až 85°C
- ◆ Napájanie: 2.0 až 3.4V
- ◆ Púzdro: 64-pin. LGA





Obrázok 3.9: Bloková schéma ZigBee SiP obvodov rady MC1321x [8]

### 3.2.2 NRF2401A 2.4GHZ TRANSCEIVER

nRF2401A je priemyselný malý, nízkonákladový, s nízkou spotrebou prúdu a nízkonapäťový 2.4GHz transceiver. Vyrábaný je modernou 0.18 $\mu$ m CMOS technológiou. Celý transceiver vrátane cievok a filtrov je integrovaný na jednom čipe, čo ponúka užívateľovi najnižšie cenové riešenie. Jediné potrebné externé súčiastky potrebné k vytvoreniu kompletného RF systému sú odpory a kryštál. Maximálna spotreba prúdu neprevyšuje 18mA vo prijímacom móde a 10.5 vo vysielacom móde @ -5dBm. Celkové riešenie sa vojde do 5x5mm púzdra.



Obvod je navrhnutý pre bezdrôtové transceiver aplikácie v bezdrôtových ovládačoch hier, PC perifériách, headsetoch, športových a vybaveniach voľného času, hračkách RF – ID, diaľkových ovládaniach a interaktívnych vybaveniach. Celá komunikácia s obvodom funguje cez štandardné sériové rozhranie. nRF2401A môže byť skvelá náhrada IR a typickej 27MHz komunikácie vo väčšine zariadení. Inovačné rysy v nRF2401A „Duo Ceiver“ a „ShockBurst“ na redukovanie spotreby a ceny umožňujú prijímaču prijímať 2 kanály súčasne napríklad z klávesnice a myši. To odstraňuje potrebu dvoch prijímačov, čo šetrí plochu aj cenu. Vlastnosti

- ◆ Jednoduchý čip GFSK transceiver v malom 24-pinovom púzdre (QFN24 5x5mm)
- ◆ Rýchlosť prenosu až 1Mbps
- ◆ Iba 2 externé komponenty
- ◆ Multikanálové operácie
- ◆ 125 kanálov
- ◆ Podpora *frequency hopping*
- ◆ Doba prepnutia kanálu <200 $\mu$ s
- ◆ Napájanie od 1.9 do 3.6V
- ◆ Výpočet adresy a CRC
- ◆ „Shock Burst“ mód pre nízkonákladové operácie a šetrenie energie MCU
- ◆ „DuoCeiver“ pre súčasný príjem z dvoch kanálov



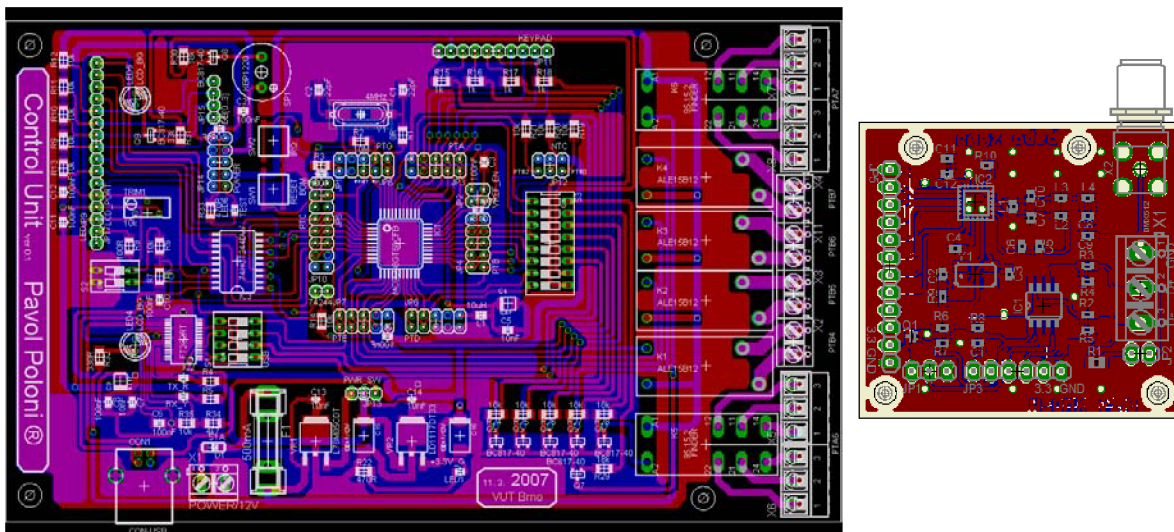
- ◆ Nízka spotreba prúdu vysielajú, typicky špička 10.5mA @ -5dBm výstupný výkon
- ◆ 100% RF testovaný
- ◆ Nie je potrebný externý SAW filter
- ◆ Celosvetové použitie
- ◆ Nízka spotreba prúdu prijímača, typicky 18mA špička v prijímacom móde [9]

Referenčné údaje		
Parameter	Value	Unit
Minimum supply voltage	1.9	V
Maximum output power	0	dBm
Maximum GFSK data rate	1000	kbps
Supply current GFSK in transmit @ -5dBm output power	10.5	mA
Supply current GFSK in receive mode	18	mA
Temperature range	-40 to +85	degrees C <sup>o</sup>
Sensitivity	-93	dBm
Supply current in Power Down mode	400	nA

Tabuľka 3.2: Referenčné údaje obvodu nRF [9]

## 4 PROBLEMATIKA NÁVRHU DPS

Po zostavení obvodovej schémy sa obvykle pokračuje návrhom fyzického rozmiestnenia a zapojenia jednotlivých elektrických súčiastok, inak povedané návrhom doky plošného spoja.



Obrázok 4.1: Návrh obojstrannej DPS riadiacej jednotky a nRF, DMX transceiverov

### 4.1 HISTÓRIA

Vývoj vzájomného spojovania elektronických súčiastok ide v celej histórii elektroniky súbežne s ich modernizáciou. V začiatkoch rádiotechniky boli vývody súčiastok riešené ako pripojovacie skrutky s maticami, pod ktoré sa priťahoval prepojavací drôt. To si vyžadovalo značné rozmery súčiastok. Neskôr sa prechádzalo na letovacie očka pod skrutky, čo viedlo ku drôtovým, letovaním spojovaných vývodov. Tým sa mohli začať znižovať rozmery súčiastok. Vzájomné prepojavovanie siete ešte zostalo drôtové, ale už v tridsiatych rokoch sa objavujú prvé pokusy o iné spôsoby letovania na pevnej podložke. Až vývoj nových materiálov a výrobných postupov umožnil koncom tridsiatych rokov techniku odleptávania plošných spojov znovu oživiť. V päťdesiatych rokoch sa začína už úspešne prebojovávať na prvé miesto v spojovaní elektronických prvkov. Nové výrobné technológie materiálov pre súčiastky umožnili ďalšiu miniaturizáciu a integráciu. Vznikajú prvé hybridné obvody, kde už vývody a ich upevnenie nielen na súčiastke, ale aj na doske plošných spojov začína robiť problémy. Koncom šesťdesiatych rokov prichádza firma *Philips* s prvými súčiastkami s bezdrôtovými vývodmi. Zahajuje tak novú éru technológií povrchovej montáže súčiastok, u ktorých už vývody tvoria len bočnú stenu súčiastky, ktorá sa potom letuje na dosku zo strany spojov.

Postupne sa začalo prechádzať na sklolamináty so zalaminovanou medenou fóliou. Dnes sa vyrába pre rôzne použitie značné množstvo rôznych podkladových materiálov, ktoré sa od seba líšia hlavne v použití pre frekvenčné závislé obvody, kde významnú rolu hrá kapacitná vodivosť tejto položky. Pre veľmi vysoké frekvencie sa používajú teflónové lamináty s prísadami. U nás sa začala výroba s fóliou lepenou na pertinaxovú podložku (*cuprexcart*) a postupne sa prešlo na epoxidový laminát (*cuprextit*). [10]

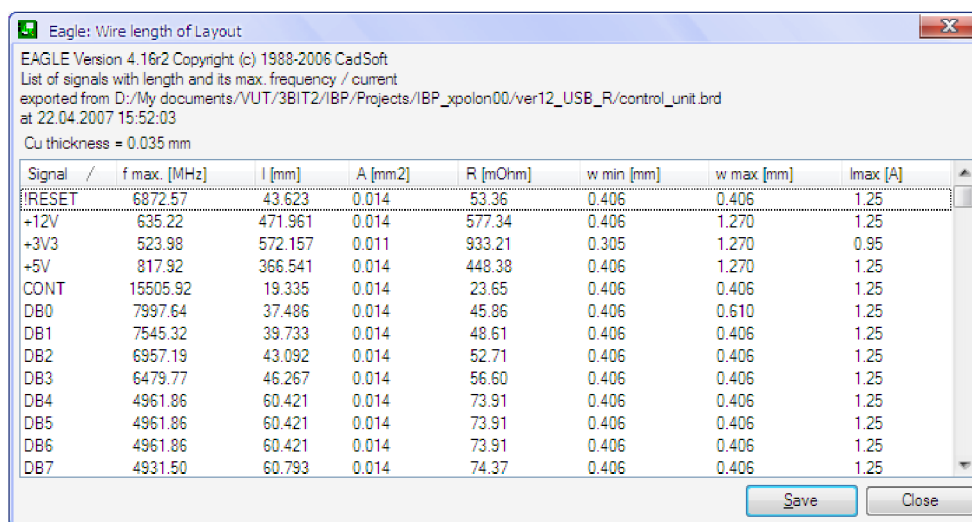
## 4.2 FUNKCIE DPS

Doska s plošnými spojmi plní tri funkcie:

- poskytuje mechanickú podporu obvodovým súčiastkam,
- sprostredkuje potrebné elektrické vodivé spoje
- a obvykle je opatrená v nejakej forme popisom alebo označením namontovaných súčiastok, umožňujúcim ich rozšírenie.

Pre použitie DPS existujú rozhodujúce dôvody. Prvým je **opakovateľnosť**. V prípade, že bol náčrt vodivého obrazca raz preskúšaný, nie je nutné kontrolovať správnosť vedenia plošných spojov u každej vyrobenej dosky, všetky budú rovnaké ako prototyp.

Druhým dôvodom použitia DPS je, že pri použití vysokofrekvenčných súčiastok je možné predpovedať odozvu na hrany impulzov, pomer stojatého vlnenia, ovplyvnenie susedných vodičov apod. V mnohých prípadoch je možné zaručiť funkciu zariadenia ešte pred zhotovením prototypu. Je možné navrhnuť vodivý obrazec tak, že všetky signálové plošné vodiče tvoria prenosové vedenie a projektant má primeranú kontrolu ich charakteristickej impedancie a v neposlednom rade aj menovitého prúdového zaťaženia. Použitý nástroj *EAGLE* ponúka návrhárovi možnosť výpočtu potrebných veličín jednotlivých spojov DPS.



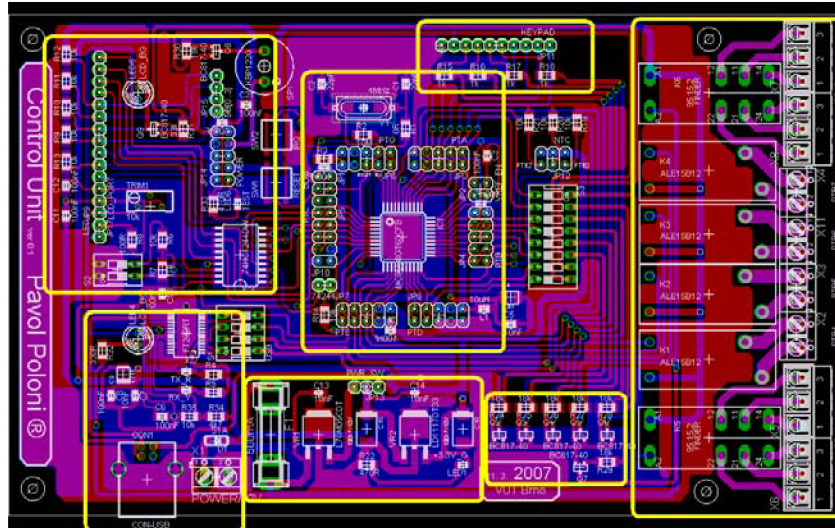
Signal	f max. [MHz]	l [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	R [mOhm]	w min [mm]	w max [mm]	I max [A]
RESET	6872.57	43.623	0.014	53.36	0.406	0.406	1.25
+12V	635.22	471.961	0.014	577.34	0.406	1.270	1.25
+3V3	523.98	572.157	0.011	933.21	0.305	1.270	0.95
+5V	817.92	366.541	0.014	448.38	0.406	1.270	1.25
CONT	15505.92	19.335	0.014	23.65	0.406	0.406	1.25
DB0	7997.64	37.486	0.014	45.86	0.406	0.610	1.25
DB1	7545.32	39.733	0.014	48.61	0.406	0.406	1.25
DB2	6957.19	43.092	0.014	52.71	0.406	0.406	1.25
DB3	6479.77	46.267	0.014	56.60	0.406	0.406	1.25
DB4	4961.86	60.421	0.014	73.91	0.406	0.406	1.25
DB5	4961.86	60.421	0.014	73.91	0.406	0.406	1.25
DB6	4961.86	60.421	0.014	73.91	0.406	0.406	1.25
DB7	4931.50	60.793	0.014	74.37	0.406	0.406	1.25

Obrázok 4.2: Vybrané parametre DPS riadiacej jednotky

Tretím dôvodom pre použitie jednoduchej DPS je prístupnosť všetkých signálov na ktoromkoľvek mieste plošného vodiča bez rizika skratu spôsobeného dotykom vodiča. U číslicových logických obvodov, kde prítomnosť alebo neprítomnosť signálov je dôležitejšia ako jeho presná amplitúda, je možné kontrolovať celé úseky DPS pomerne rýchlo, obzvlášť keď boli dosky navrhované systematicky. Na navrhovanej doske je jasne vidieť rozmiestnenie jednotlivých funkčných blokov ako sú:

- ◆ napájací zdroj,
- ◆ MCU,
- ◆ USB konvertor,

- ◆ LCD a jeho podporné obvody,
- ◆ výkonové spínacie prvky a ich budenie,
- ◆ klávesnica,
- ◆ elektroakustický menič, LED, ...



Obrázok 4.3: Zvýraznenie funkčných blokov na DPS

Ďalšou dôležitou výhodou DPS je možnosť hromadného spájkovania spojov, tak totiž dosiahneme rovnakej kvality spojov ako vodivého obrazca. Moderné spájkovacie techniky využívajúce zariadenia buď na spájkovanie zmáčaním alebo vlnou môžu zaručiť tisíce spoľahlivých spojov za minútu, zatiaľ čo kvalita ručne spájkovaných spojov býva veľmi rozdielna a závisí na zručnosti a šikovnosti pracovníka.

## 4.3 POVRCHOVÁ MONTÁŽ – SMT

**SMT** – (Surface Mounted Technology) spôsob osadzovania a technika montáže

**SMD** – (Surface Mounted Devices) súčiastky určené pre povrchovú montáž

Tento spôsob osadzovania a technika montáže prišla na svet počiatkom 80. rokov ako nová technológia výroby súčiastok. Vďaka stálemu zmenšovaniu klasických elektronických výrobkov a hlavne masívnemu nástupu počítačov nastal problém, ako natesnať čo najviac puzdiel súčiastok na plošný spoj. Prvými súčiastkami, o ktorých je možné povedať, že boli typu SMD boli už spomínané hybridné integrované obvody.

### 4.3.1 VÝHODY A NEVÝHODY KLASICKÝCH SÚČIASTOK

Výhodou klasických súčiastok, ktoré sa vyvíjali behom dvadsiateho storočia je celkom jednoduché spájkovanie na plošné spoje a to hlavne na jednoducho vybavených pracoviskách. Súčiastky sú dosť veľké a tým je uľahčená manipulácia s nimi a ručne i strojovo sa dobre osadzujú do DPS.

Jednou z nevýhod klasických súčiastok je potreba plošného spoja v prevedení so špeciálnymi spájkovacími ploškami v ktorých sú vrtané diery. Po osadení je tu problém odstránenia vývodov

súčiastok po zaletovaní. Pokiaľ sa spájkujú plošné spoje pomocou cínovej vlny, vzniká problém, ako odstrániť prebytočnú dĺžku vývodov súčiastok ešte pred zaletovaním. Vlna horúceho cínu, ktorá sa používa k spájkovaniu v sériovej výrobe má vo väčšine prípadov výšku cínovej hrádze 4-6mm a do tejto výšky musia byť ostrihané všetky vývody súčiastok. Hlavnou nevýhodou klasických súčiastok je nemožnosť sériovo spájkovať na DPS súčiastky z oboch strán.

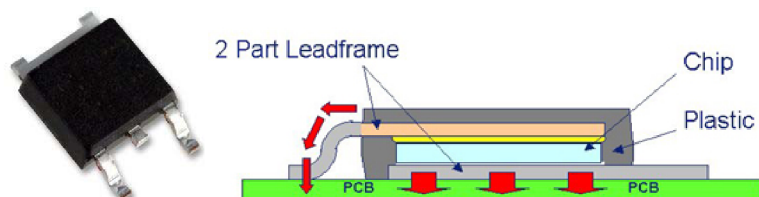
#### Zhrnutie:

- ◆ nutné vrtné DPS – drahé
- ◆ problém trhania medi pri strihaní vývodov
- ◆ veľmi drahé automatické tvarovače vývodov súčiastok
- ◆ nie je možné sériovo spájkovať na DPS obojstranne

### 4.3.2 VÝHODY A NEVÝHODY POVRCHOVEJ MONTÁŽE – SMT

Výhoda SMD súčiastok pre povrchovú montáž spočíva hlavne v miniatúrnom prevedení ich puzdier a v ich ľahkosti. Vďaka zmenšeniu puzdier je možné dosiahnuť až 50% zhustenie osadenia a tým i zmenšenie výslednej DPS. Pri malých rozmeroch súčiastok je možné s ďaleko menším rizikom navrhovať obvody, ktoré môžu byť vystavené i väčším mechanickým rázom a chveniu, poprípade i vyrobiť plošné spoje vytvorené na ohybných fóliách. Odpadajú problémy s krehkosťou cínových spojov.

Nevýhodou SMD súčiastok je hlavne požiadavka na technologické vybavenie pre osadzovanie a bez neho je použitie SMD problematické. Ďalšia nevýhoda miniaturizácie je už v samotnom návrhu DPS. Ťahanie ciest v zhustenom návrhu a s relatívne veľkými spájkovacími plochami súčiastok. Ďalšou negatívnou vlastnosťou takýchto návrhov je i nadmerné namáhanie ciest veľkými prúdmi. Chladenie výkonových súčiastok v púzdre SMD začína byť poslednou dobou tiež citeľný problém. Je nutné vytvoriť patrične veľké chladiace plochy priamo v medi.



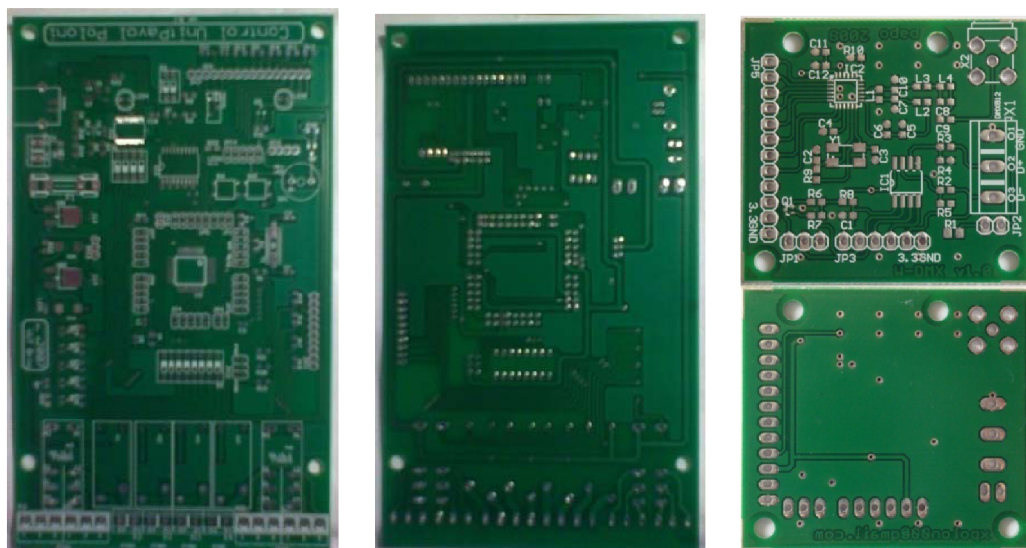
Obrázok 4.4: DPAK - spôsob chladenia

Chýba ucelená norma pre puzdra SMD súčiastok. S tým súvisí problém so značením súčiastok. Na klasickej súčiastke je dostatok miesta pre označovanie typu súčiastky i pre značku výrobcu a dátum výroby poprípade ďalšie pomocné kódy výrobcu. Na SMD súčiastkach je možné len ťažko napísať kód súčiastky. To vyžaduje aby výrobca aplikácií respektíve užívateľ SMT technológie používal prevodné tabuľky na klasické značenie. Najväčší zápor povrchovej montáže SMT je v osadzovaní. Prvým predpokladom kvalitného osadenia je výborná spájkovateľnosť PCB. Je doporučené mať na plôškach nanosený HAL (pocínovanie medi – uľahčuje spájkovanie) alebo aspoň pasiváciu (chemické zdrsnenie povrchu medi) určenú pre SMT. Proti vzniku skratu pod súčiastkami je doporučené mať na PCB tiež nespájkovaciu masku. Pre ručné osadzovanie je nutné mať aspoň lupu,

jemnú pinzetu a mikropájkku s úzkym hrotom. Pre prenášanie súčiastok zo zásobníku na PCB je dobré mať vákuovú pinzetu. [11]

DPS popisovaného systému bola vyrobená s nasledujúcou špecifikáciou:

- ◆ obojstranný prekovený plošný spoj
- ◆ povrchová úprava HAL Sn63Pb37
- ◆ nespájkovacia maska z obidvoch strán
- ◆ jednostranná sieťotlač zo strany súčiastok



Obr. 4.1: Neosadené DPS riadiacej jednotky a nRF, DMX transeiverov

## 4.4 DVOJVRSTVOVÁ DOSKA

Niekedy je nutné, aby plošný vodič bol prepojený s druhou vrstvou, a tým sa umožnilo jeho kríženie s iným plošným vodičom na pôvodnej vrstve. Toto bol hlavný dôvod, prečo je popisovaný ES navrhnutý na obojstrannú DPS. U viacvrstvových dosiek vyrobených popísaným spôsobom takýto prechod z jednej vrstvy na druhú by vyžadoval otvor prechádzajúci všetkými základnými doskami. To znamená, že žiadny iný plošný vodič v ktorejkoľvek inej vrstve by nemohol prechádzať v priestore prepojovacieho otvoru, lebo by došlo ku spojeniu s plošným vodičom prechádzajúcim z jednej vrstvy na druhú. U dosiek s veľmi tesným rozmiestnením súčiastok a obrazcov by to spôsobilo značné straty užitočnej plochy. Viacvrstvové dosky je možné tiež vyrobiť z dvojstranných základných dosiek s prepojovacími otvormi pre prechod z jednej vrstvy na druhú, vyvrtanými a prekovenými. Vzhľadom k tomu, že jednotlivé základné dosky u viacvrstvových dosiek sú oveľa tenšie než dvojvrstvové dosky zrovnateľných rozmerov, môžu byť rozmery prepojovacích plôšok a otvorov slúžiacich k prepojeniu jednotlivých vrstiev menšie než spájkovacie plôšky a prepojovacie alebo súčiastkové otvory vrtané po zlepení základných vrstiev. To predstavuje ďalšiu úsporu užitočnej plochy dosky. Dvojvrstvové základné dosky sú oddelené izolačnými vrstvami, čo dovoľuje vytvoriť na ľubovoľnom mieste dosky toľko prepojovacích bodov, koľko je vo viacvrstvovej doske dvojvrstvových základných dosiek.

## 4.5 POPIS

Väčšina dosiek s plošnými spojmi je na strane súčiastok opatrená popisom, ktorý zahrňuje polohu všetkých súčiastok a ich referenčné očíslovanie. Tento popis sa spravidla prevádza v bielej farbe sieťotlačou. U dosiek pomerne jednoduchých alebo dosiek s obmedzeným počtom súčiastok stojí za úvahu zahrnúť všetky významné údaje popisu do leptaného medeného obrazca. Tým sa usporia náklady na vytvorenie matrice a sita a náklady na zhotovenie popisu u každej vyrobenej dosky. Pokiaľ sa zvolí tento spôsob popisu, mal by byť vykonaný v takej veľkosti, aby nemohlo dôjsť k vyradeniu inak prípustnej dosky len preto, že popis nebude čitateľný. Takýto popis v medi môže poskytnúť rýchlu orientáciu o kvalite vyrobenej dosky i o kvalite leptania.

## 4.6 NESPÁJKOVACIA MASKA

Niekedy sa DPS opatrujú nespájkovacou maskou. Je to farba odolná teplu a nanášaná na stranu spájkovania s výnimkou spájkovacích plôšok, ktoré budú skutočne spájkované. Jej účelom je zabrániť, aby pri spájkovaní nedošlo k nežiaducemu spojeniu susedných plošných vodičov. Podobne ako popis dosky aj nespájkovacia maska sa vytvára na povrchu dosky sieťotlačou. Niektoré druhy materiálov pre vytváranie nespájkovacej masky vyžadujú vytvrdenie pri vysokých teplotách, čo môže neskôr spôsobiť skrútenie hotových dosiek. Nespájkovacia maska by sa nemala zameniť s ochranným povlakom, obvykle nanášaným štetcom alebo striekaním na montované dosky ako ochrana proti vplyvom prostredia.

## 5 BLOKOVÁ SCHÉMA A VOĽBA KOMPONENT SYSTÉMU

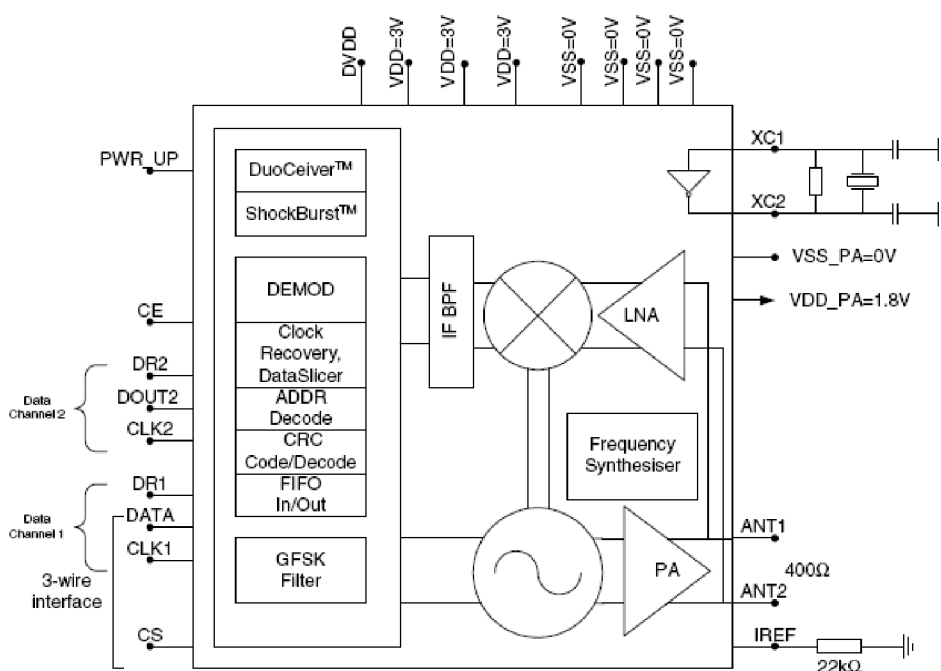
Pred samotným zostavením blokovej schémy sme sa oboznámili so štruktúrou a vlastnosťami vstavaných systémov a ich prvkov obecné. Z toho sa následné odvíja samotný návrh a výber vhodných komponent. Pri návrhu blokovej schémy vychádzame zo základných požiadaviek kladených a formy resp. štruktúry komunikácie jednotlivých blokov. Ďalej sa budeme zaoberať charakteristikou vybraných komponent blokovej schémy (viď **1. príloha**) popisovaného systému.

### 5.1 BEZDRÔTOVÝ PRENOS – NRF2401A

Na blokovej schéme je zobrazený obvod od firmy *Freescale*, konkrétne MC1391x, ktorý komunikuje s radiacou časťou prostredníctvom rozhrania SPI. Rovnakým spôsobom je k MCU pripojený aj transceiver nRF.

Z dôvodov poskytovanej prenosovej rýchlosti som sa nakoniec priklonil k obvodu nRF2401A, ktorý slúži na bezdrôtový prenos rýchlosťou až 1Mbps<sup>6</sup>. Jeho základné parametre už boli spomenuté v prvej polovici tohto dokumentu, preto ich už nebudeme opakovať. V tejto kapitole sa už bližšie zameriame na jeho reálne použitie a nasadenie v navrhovanom systéme.

#### 5.1.1 BLOKOVÁ SCHÉMA NRF2401A



Obrázok 5.1: Blokovaná schéma obvodu nRF2401A [12]

Na blokovej schéme je jasne vidieť **3-vodičové komunikačné rozhranie**, čo nasvedčuje, že sa jedná o spomínané rozhranie SPI. Toto rozhranie bližšie špecifikujeme v kapitole venovanej MCU HCS08.

<sup>6</sup> Toto je maximálna prenosová rýchlosť v ktorej je započítaná aj réžia prenosu, z toho vyplýva, že užitočná prenosová rýchlosť bude o niečo menšia.



Ďalej je vidieť, že počet nutných externých súčiastok je minimálny, v podstate sa jedná len o zdroj hodinového signálu, ktorý je aj v našom prípade kryštál, konkrétne s hodnotou 16MHz.

## Režimy prenosu

Obvod nRF2401A ponúka 2 aktívne (RX/TX) módy prenosu. Funkčnosť obvodu v danom móde je špecifikovaná tzv. **konfiguračným slovom**, ktorého podrobný popis bude ďalej spomenutý.

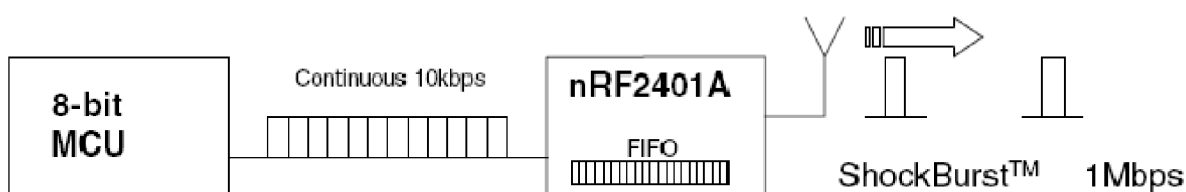
- ◆ ShockBurst™
- ◆ Direct Mode

### 5.1.2 SHOCKBURST™

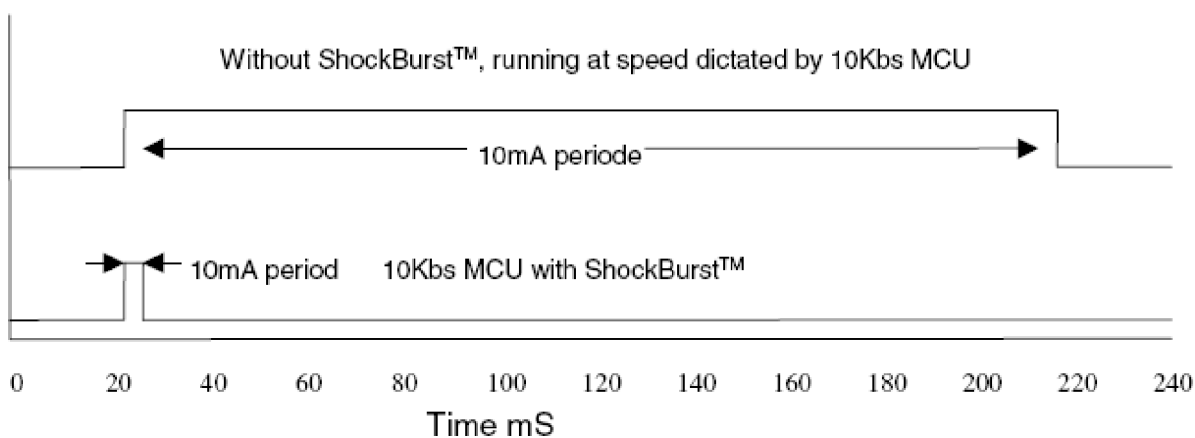
Technológia *ShockBurst™* používa na FIFO pamäť na čipe na nahranie dát malou rýchlosťou a ich bezdrôtový prenos naopak veľkou rýchlosťou, čo zabezpečí veľkú úsporu z energie potrebnej na prenos pomalých dátových tokov. Vďaka tejto technológii je možné prenášať dáta rýchlosťou 1Mbps a nie je potrebné mať drahý a rýchly MCU. Navyše, tým že relatívne pomalý dátový tok sa prenáša „vo vzduchu“ rýchlejšie, znižuje sa tým pravdepodobnosť kolízie, pretože sa redukuje doba potrebná na bezdrôtový prenos.

#### 5.1.2.1 PRINCÍP SHOCKBURST™

nRF2401A je programovaný pomocou 3-vodičového rozhrania (SPI), kde dátová rýchlosť je dedikovaná MCU



Obrázok 5.2: Príklad posielania dát technológiou ShockBurst™ [12]



Obrázok 5.3: Spotreba energie pri prenose [12]

Z obrázku je jasne vidieť výhoda popisovanej technológie vzhľadom k spotrebovanému prúdu za jednotku času, čiže spotrebovaná energia.

### 5.1.3 DIRECT MODE

V tomto móde funguje obvod nRF2401A ako tradičné RF zariadenie. Dáta musia byť prenášané presne rýchlosťou 1Mbps  $\pm 200$ ppm, alebo 250kbps  $\pm 200$ .

Pri vysielaní dát je celá časť RF protokolu implementovaná v MCU:

- ◆ preamble,
- ◆ adresa,
- ◆ CRC.

Príjem dát je opäť o niečo jednoduchší, v MCU musíme implementovať:

- ◆ kontrolu adresy,
- ◆ kontrolu CRC.

### 5.1.4 KONFIGURÁCIA OBVODU NRF2401A

Každá konfigurácia nRF2401A prebieha prostredníctvom 3-vodičového rozhrania (SPI). Konfiguračné slovo je **15B** dlhé pri použití *ShockBurst™* a **2B** dlhé pri *direct móde*.

#### 5.1.4.1 KONFIGURÁCIA V DIRECT MÓDE

V tomto prípade sú relevantné len prvé dva bajty (0:15b) ktoré určujú základnú konfiguráciu obvodu nRF. Z konfiguračného slova stojí za zmienku prvý bajt (0:7b), ktorý je možné po nakonfigurovaní obvodu nRF poslať samostatne a to za účelom zmeny módu vysielania resp. prijímania a na rýchlu zmenu frekvencie, t.j. podpora pre tzv. **frequency hopping**<sup>7</sup>.

RF_CH#							RXEN
7	6	5	4	3	2	1	0

Obrázok 5.4: Frekvenčný kanál a smer prenosu [12]

Výsledná frekvencia na ktorej sa bude prenášať daný kanál je daná výrazom:

$$Channel_{RF} = 2400MHz + RF_{CH\#} \times 1MHz [12]$$

#### 5.1.4.2 KONFIGURÁCIA V MÓDE SHOCKBURST™

Konfiguračné slovo zapína nRF do módu, aby sa staral o spracovanie RF protokolu (preamble, adresa, CRC). Konfiguračné slovo určuje:

<sup>7</sup> Používané aj v technológii Bluetooth, v podstate ide o zmenu nosnej frekvencie v čase prenosu, tým sa zvýši odolnosť voči rušeniu na určitej frekvencii.

- ◆ Veľkosť užitočných dát v bitoch (potrebná pre rozoznanie dátovej časti a CRC v pakete).
- ◆ Šírku adresy (potrebná na rozoznanie dátovej časti od adresovej).
- ◆ Zapnutie generovanie CRC v obvode nRF.

	Bit position	Number of bits	Name	Function
ShockBurst™ configuration	143:120	24	TEST	Reserved for testing
	119:112	8	DATA2_W	Length of data payload section RX channel 2
	111:104	8	DATA1_W	Length of data payload section RX channel 1
	103:64	40	ADDR2	Up to 5 byte address for RX channel 2
	63:24	40	ADDR1	Up to 5 byte address for RX channel 1
	23:18	6	ADDR_W	Number of address bits (both RX channels).
	17	1	CRC_L	8 or 16 bit CRC
	16	1	CRC_EN	Enable on-chip CRC generation/checking.
General device configuration	15	1	RX2_EN	Enable two channel receive mode
	14	1	CM	Communication mode (Direct or ShockBurst™)
	13	1	RFDR_SB	RF data rate (1Mbps requires 16MHz crystal)
	12:10	3	XO_F	Crystal frequency
	9:8	2	RF_PWR	RF output power
	7:1	7	RF_CH#	Frequency channel
	0	1	RXEN	RX or TX operation

Tabuľka 5.1: Konfiguračné slovo obvodu nRF2401A [12]

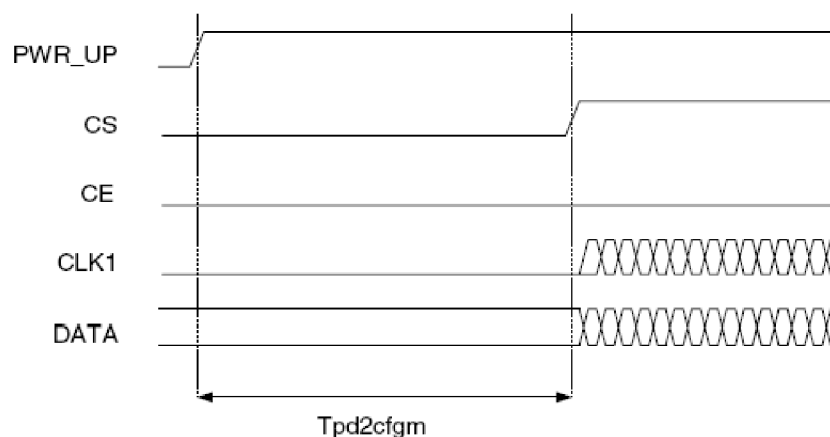
### 5.1.5 DÔLEŽITÉ ČASOVANIE DÁT

nRF2401A timing	Max.	Min.	Name
PWR_DWN → Configuration mode	3ms		Tpd2cfgm
PWR_DWN → Active mode (RX/TX)	3ms		Tpd2a
ST_BY → TX ShockBurst™	195µs		Tsby2txSB

ST_BY → TX Direct Mode	202μs		Tsby2txDM
ST_BY → RX mode	202μs		Tsby2rx
Minimum delay from CS to data.		5μs	Tcs2data
Minimum delay from CE to data.		5μs	Tce2data
Minimum delay from DR1/2 to clk.		50ns	Tdr2clk
Maximum delay from clk to data.	50ns		Tclk2data
Delay between edges		50ns	Td
Setup time		500ns	Ts
Hold time		500ns	Th
Delay to finish internal GFSK data		1/data rate	Tfd
Minimum input clock high		500ns	Thmin
Set-up of data in Direct Mode	50ns		Tsdm
Minimum clock high in Direct Mode		300ns	Thdm
Minimum clock low in Direct Mode		230ns	Tldm
Time on air, TX Direct mode	4ms		ToaDM

Tabuľka 5.2: Časovanie obvodu nRF2401A [12]

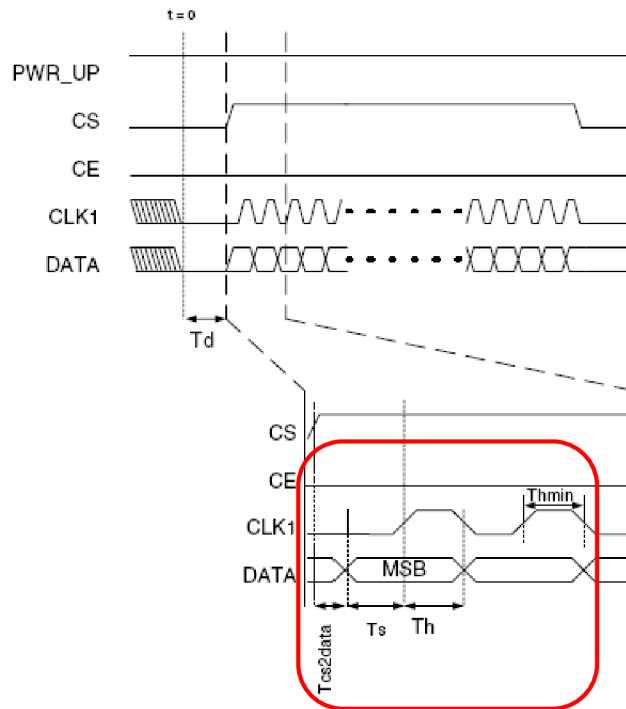
Po zapnutí obvodu ( $PWR\_UP = 1$ ) je nutné dodržať medzeru **3ms** pred tým ako začneme s nahrávaním konfigurácie, resp. uvedieme obvod do aktívneho módu. Je nutné podotknúť, že konfigurácia sa pri úplnom vypnutí obvodu stráca ( $VDD = off$ ).



Obrázok 5.5: Medzera pred konfiguráciou obvodu nRF2401A [12]

Okrem časových „medzier“ je potrebné zaoberať sa aj správnym fyzickým formátom dát, resp. správne časovanie komunikačného rozhrania. V prípade hodinového signálu je nutné si všimnúť, že nábežná hrana hodinového signálu sa nachádza „uprostred dát“. Obvod nRF požaduje aby v okamihu nábežnej hrany boli dáta v stabilnom stave, t.j. určitý čas pred vzorkovaním (*Setup time*)

a zotrvať v stabilnom stave nejakú dobu po nábežnej hrane (*Hold time*). V našom prípade, keď MCU HCS08 obsahuje modul SPI jedná sa o správne nastavenie konfiguračných registrov obvodu SPI.



Obrázok 5.6: Časovanie konfigurácie obvodu nRF2401A [12]

Z tohto diagramu môžeme vyčítať aj ďalší z parametrov prenosu medzi MCU a nRF po 3-vodičovom rozhraní SPI a to je maximálna prenosová rýchlosť, čiže maximálna frekvencia hodín SPI.

Jednoduchým vzorcom určíme z hodnoty  $T_{hmin} = 500\text{ns}$  maximálnu prenosovú rýchlosť. Keď je polovica periódy hodinového signálu rovná  $T_{hmin} = 500\text{ns}$ , z toho vyplýva, že perióda je **1 $\mu\text{s}$** . Potom maximálna frekvencia prenosu dát, resp. konfigurácie medzi MCU a nRF je:

$$f_{max} = \frac{1}{2 \times T_{hmax}} = 1\text{MHz}$$

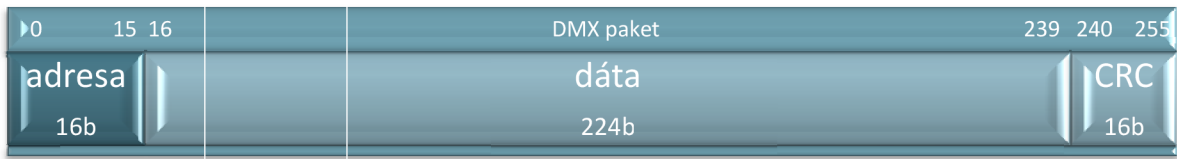
V každom takte hodinového signálu sa preniesie len 1 bit (ide o 2 stavovú moduláciu) preto sa frekvencia rovná prenosovej rýchlosti a teda **1Mbps**.

Ďalším časovým diagramom, z ktorého vyplýva aj maximálna prenosová rýchlosť v móde **ShockBurst™**, je správne časovanie vysielania dát. Rýchlosť prenosu je daná minimálnou dobou potrebnou k prenosu jedného dátového paketu, podrobnejšie teda:

- ◆ **Td** – potrebné časové oneskorenie pred nahraním dát do nRF
- ◆ Doba prenosu dát medzi MCU a nRF (maximálna prenosová rýchlosť je vypočítaná 1Mbps)
- ◆ **Tsby2txSB** – oneskorenie pred samotným začatím prenosu vzduchom
- ◆ **Toa** – doba prenosu vzduchom, ktorá je daná nasledujúcim vzorcom

$$t_{OA} = \frac{1}{\text{datarate}} \times (\#databits + 1) [12]$$

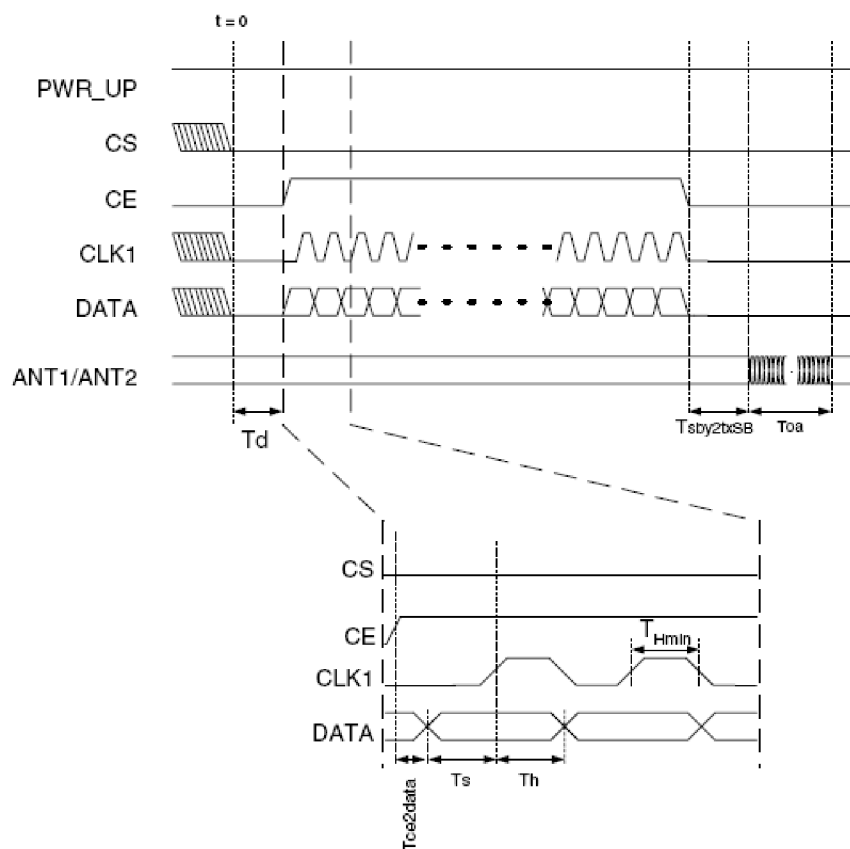
Veľkosť paketu a teda počet prenesených bitov je závislý od nastavení formátu paketu, t.j. veľkosť adresového poľa, veľkosť užitočných dát, CRC. V diplomovej práci som použil nasledujúci formát paketu:



Obrázok 5.7: Formát DMX paketu prenášaného obvodom nRF

DMX paket využíva maximálnu možnú dĺžku užitočných dát paketu nRF ( $\leq 256$ ).

$$DATAx\_W(bits) = 256 - ADDR\_W - CRC [12]$$



Obrázok 5.8: Časovanie vysielania dát v režime ShockBurst™ [12]

Doba potrebná na prenos jedného DMX paketu (pri RF Data Rate = **256kbps**) je daná vzťahom:

$$\begin{aligned} T_{DMX} &= T_d + T_{MCU2nRF} + T_{sby2txSB} + T_{OA} \\ &= 50ns + (16 + 224^8) \cdot 1\mu s + 195\mu s + \frac{1}{256} \cdot (8^9 + 16 + 224 + 16 + 1)ms \\ &= \mathbf{1,47ms} \end{aligned}$$

<sup>8</sup> CRC sa vypočíta v obvode nRF

<sup>9</sup> PRE-AMBLE

Vypočítaná doba je čas potrebný na prenesenie užitočných dát o veľkosti **224b**. Výpočtom teda stanovíme maximálnu prenosovú rýchlosť na:

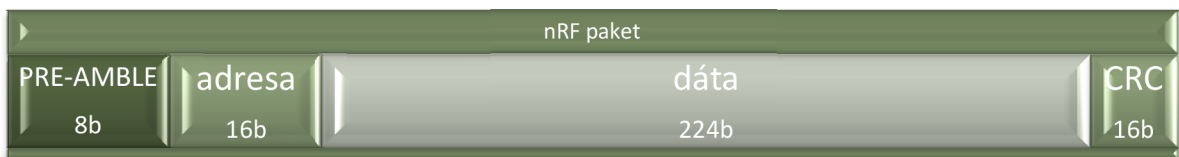
$$nRFdataRateSB_{max256} = \frac{1}{\frac{1,47ms}{224b}} = \mathbf{152,38kbps}$$

Réžia v tomto prípade zaberá **40%** maximálnej kapacity prenosového kanálu. Aj napriek tomu je to pre prenos protokolu DMX512 postačujúce. Obvod nRF ponúka aj vyššiu rýchlosť prenosu (pri RF Data Rate = **1Mbps**) avšak za cenu zníženia citlivosti o **10dB**.

$$\begin{aligned} T_{DMX} &= T_d + T_{MCU2nRF} + T_{sby2txSB} + T_{OA} \\ &= 50ns + (16 + 224) \cdot 1\mu s + 195\mu s + \frac{1}{1000} \cdot (8 + 16 + 224 + 16 + 1)ms \\ &= \mathbf{0,7ms} \end{aligned}$$

$$nRFdataRateSB_{max1M} = \frac{1}{\frac{0,7ms}{224b}} = \mathbf{320kbps}$$

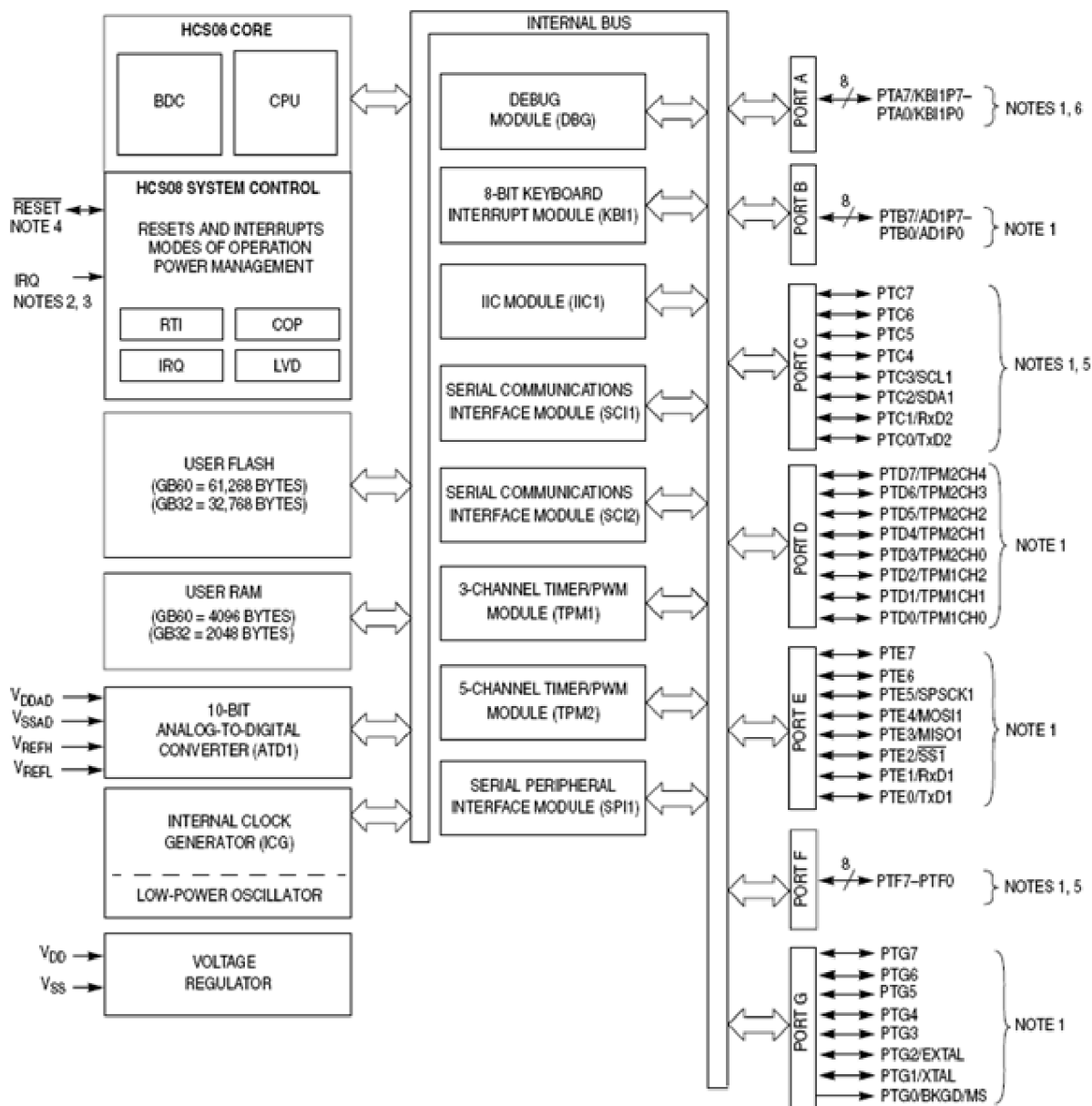
V tomto prípade je cena za réžiu ešte dramatickejšia a tvorí 68%. Je to samozrejme spôsobené potrebnou časovou medzerou medzi začiatkom samotného bezdrôtového prenosu - **Tsby2txSB**.



Obrázok 5.9: Formát nRF paketu

## 5.2 RIADENIE - HCS08GT60

CPU je kompatibilný s predchádzajúcou rodinou HC08, 16-bitový ukazovateľ zásobníku, 16-bitový index register, až 40MHz interná zbernica, možnosť adresovania 64kB, 16 adresovacích módov, presun z pamäti do pamäti bez použitia akumulátora, rýchle násobenie (8x8) a delenie (16/8), modulárna architektúra, režimy nízkeho príkonu. Pamäť programu je rozsiahlejšia a má kapacitu 60kB. Pamäť RAM má kapacitu 4kB. K dispozícii je šesť portov, z nich časť je opäť využívaná pre viac signálov.

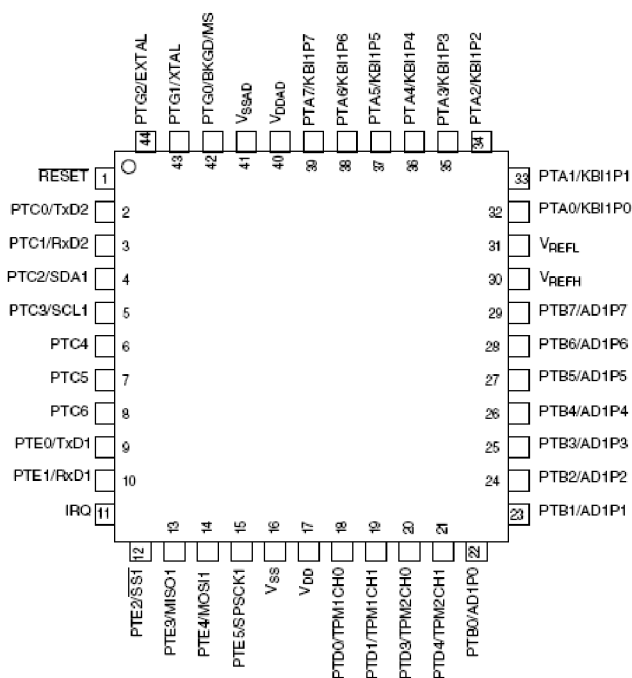


Obr. 5.1: Bloková schéma MC9S08GTxx [7]



- ◆ **SCI, SPI** – asynchrónne resp. synchrónne sériové komunikačné rozhranie.
- ◆ **TPM** – 3 a 5-kanálový časovač pre spracovanie a generovanie impulzov.
- ◆ **ATD** – integrovaný 10-bitový analógovo číslicový prevodník.
- ◆ **KBI** – modul pre obsluhu ôsmich externých maskovateľných. prerušení určených napríklad pre obsluhu klávesnice.
- ◆ **IIC** – (Inter-Integrated Circuit) modul pre komunikáciu s inými integrovanými obvodmi.
- ◆ **BDC** – (Background Debug Controller) radič na správu ladenia programu na pozadí (priamo v aplikácii), pri vykonávaní inštrukcie na nastavenej adrese je vyvolané špeciálne prerušenie, ktorého obsluha je použitá pri ladení programu.
- ◆ **RTI** – (Real-Time Interrupt) generuje periodické prerušenie odvodené od frekvencie zbernice.
- ◆ **IRQ** – modul vonkajšieho maskovateľného prerušenia.
- ◆ **COP** – modul správneho chodu programu. Často sa používa pomenovanie *Watchdog* – strážny obvod. Súčasťou obvodu je nezávislý čítač, ktorý pri svojom pretečení vygeneruje interné nulovanie. Tento časovač je odštartovaný po resete alebo niekedy neskôr z programu. Jeho časová konštanta (cyklus) môže byť spojená s hodinovým signálom MCU.
- ◆ **LVD** – (Low-Voltage Detect) systém na ochranu pred nízkym napájacím napätím

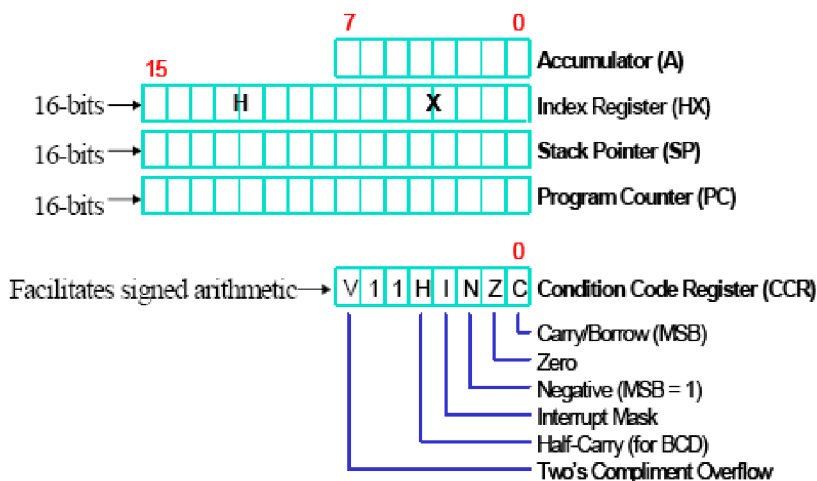
Ako je vidieť na schéme má každý port aj alternatívne využitie. Je potrebné si uvedomiť, že u obojsmerných vývodov portov je treba dopredu definovať smer prenosu dát. K tomu sú určené **DDRx** registre pre príslušné porty. Implicitnou hodnotou je nízka úroveň, čo nastavuje vývody do vstupného módu. Vývody, ktoré sú využívané alternatívne sú pripojené k príslušnej periférnej jednotke, ak je v príslušnom registri aktivovaná.



Obr. 5.2: 44-pinové QFP puzdro [7]

## 5.2.1 PROGRAMOVACÍ MODEL

Programovací model je registrová štruktúra ako sa javí MCU programátorovi. Vytvára rámec v ktorom programátor môže vytvárať svoj program. Ďalej musí programátor poznať súbor inštrukcií. Mikrokontroléry HCS08 majú inštrukčnú sadu typu *CISC*.



Obr. 5.3: Registre CPU [13]

Programovací model obsahuje:

- ◆ 8-bitový akumulátor **A** pre všeobecné použitie. CPU ho využíva pre uloženie operandov a výsledkov aritmetických a niektorých ďalších operácií.
- ◆ 16-bitový indexregister **SP** pre indexregistrové adresovanie 64kB pamäti. Je tvorený spojením dvoch osembitových registrov **H** a **X**.
- ◆ 16-bitový ukazovateľ zásobníku, ktorý ukazuje na prvú voľnú pozíciu zásobníku. Zásobník je pamäťová štruktúra pre sekvenčné uloženie a výber dát. Pre mnohé inštrukcie je možné využiť ukazovateľa zásobníku ako ďalšieho indexregistru. Po resetovaní je H:X register a SP register nastavený na hodnotu \$00FF. Vynulovanie zásobníku je možné realizovať inštrukciou *RSP*, ktorá nastaví dolný bajt na hodnotu FF a horný bajt ponechá v pôvodnom stave.
- ◆ 16-bitový programový čítač **PC** obsahuje adresu nasledujúcej inštrukcie alebo operandu. Štandardne sa **PC** automaticky inkrementuje, pri inštrukciách skokov, volaní podprogramov, alebo obsluhu prerušenia je **PC** nastavený na odlišnú adresu, podľa kontextu. Po resetovaní je **PC** naplnený resetovacím vektorom. Hodnota vektoru je adresou prvej inštrukcie, ktorá je vykonávaná po resetovaní.
- ◆ 8-bitový stavový register obsahuje globálnu masku prerušenia a päť príznakov, ktoré indikujú výsledok práve vykonávanej inštrukcie:
  - **V** – príznak pretečenia  
Tento bit je nastavený pri výskyte pretečenia výsledku v doplnkovom kóde. Príznak je dôležitý pre znamienkovú aritmetiku
  - **H** – príznak polovičného prenosu

Tento bit polovičného prenosu je nastavený pri prenose medzi tretím a štvrtým bitom akumulátora počas operácie *ADD* a *ADC*. Tento príznak je využívaný pre aritmetické operácie v BCD kóde.

- **I** – maska prerušenia

Pokiaľ je tento maskovací bit nastavený, žiadne prerušenie sa neuplatní. Prerušenie sa uplatní až pri vynulovaní *I* bitu. Pri výskyte prerušenia je maska prerušenia automaticky nastavená po uložení CPU registrov na zásobník, ale skôr ako je načítaný vektor prerušenia.

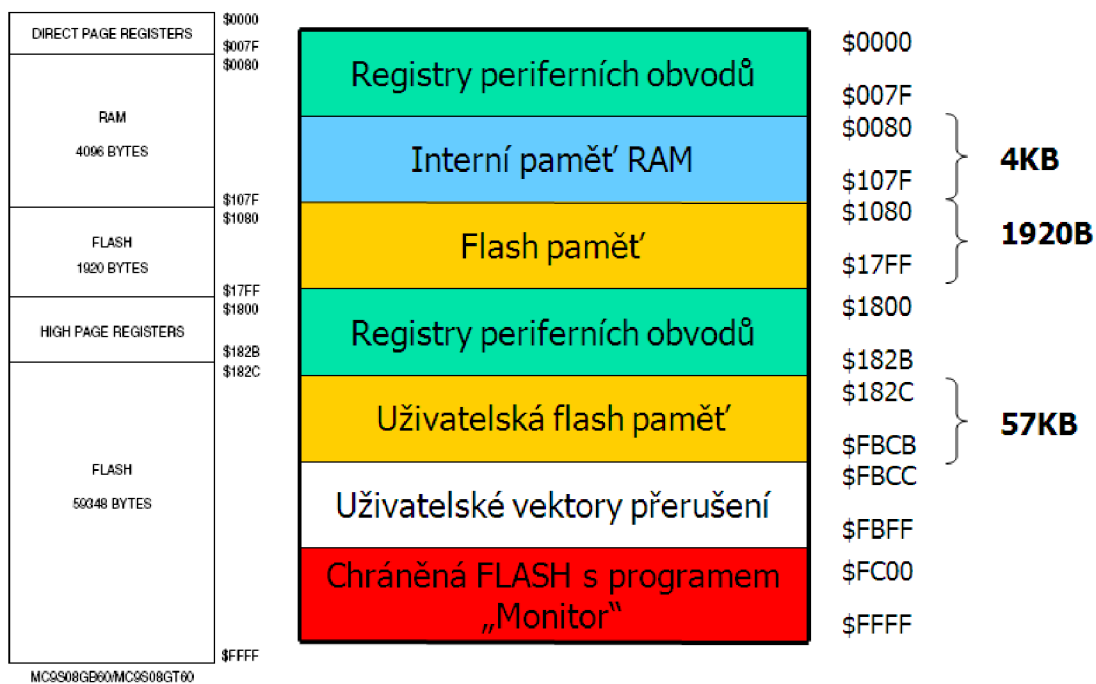
- **N** – príznak záporného obsahu akumulátora

CPU nastavuje tento príznak pokiaľ pri aritmetickej, logickej alebo pri operácii presunu je výsledok záporný.

- **C** – prenos/pôžička

CPU nastaví tento príznak pokiaľ po operácii súčtu dôjde k prenosu zo siedmeho bitu, alebo ak pri operácii rozdielu dôjde k pôžičke. Niektoré logické operácie a inštrukcie pre úpravu operandov tiež nastavujú alebo nulujú tento príznak, napr. inštrukcie podmienených skokov, posuvy a rotácie. [13]

## 5.2.2 MAPA PAMÄTI



Obr. 5.4: Mapa paměti [7]

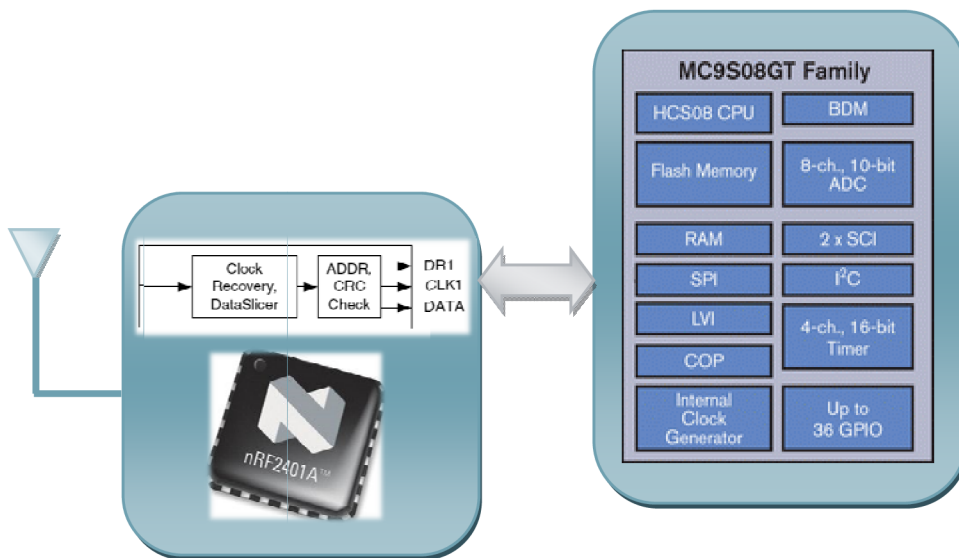
Mapa paměti sa viaže k uvedenému programovaciemu modelu. Pretože programový čítač je 16-bitový, CPU môže adresovať 64kB pamäťového priestoru s nasledujúcimi segmentmi:

- ◆ registre periférnych obvodov \$0000-\$007F
- ◆ pamäť RAM \$0080-\$107F (4kB)
- ◆ v rámci pamäti RAM je vymedzený priestor pre zásobník
- ◆ pamäť FLASH je pamäť programu \$1080-\$17FF

- ◆ registre periférnych obvodov \$1800-\$182B
- ◆ užívateľská FLASH pamäť \$182C-\$FBCB
- ◆ blok vektorov definovaných užívateľom \$FBCC-\$FBFF
- ◆ monitor ROM \$FC00-\$FFFF

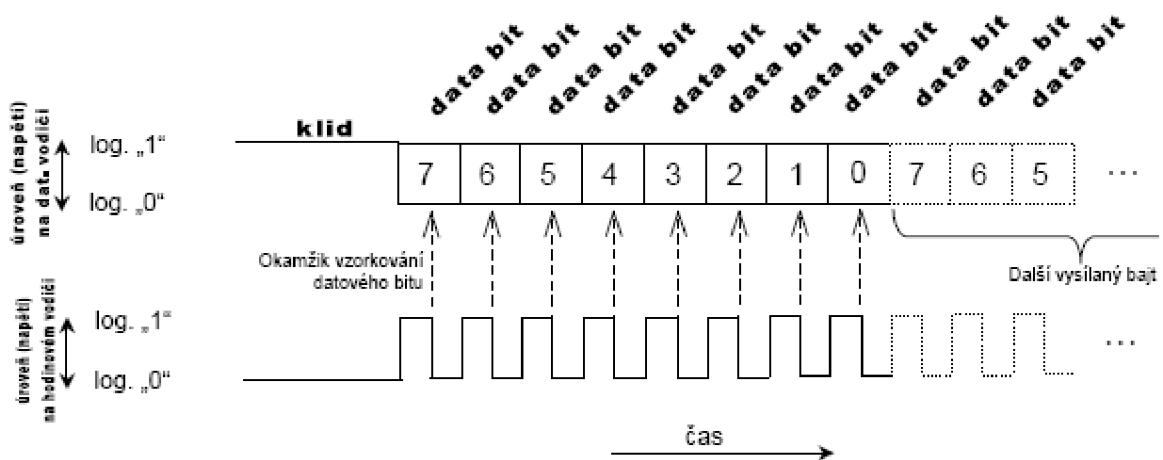
### 5.2.3 KOMUNIKÁCIA MEDZI MCU A NRF - SPI

Komunikácia medzi obvodom nRF2401A zabezpečujúcim bezdrôtový prenos a MCU HCS08 zabezpečujúcim riadenie a spracovanie protokolu DMX je prostredníctvom rozhrania SPI. Preto je táto podkapitola venovaná podrobnejšej štúdii modulu **synchronného sériového prenosu - SPI**.



Obrázok 5.10: Komunikácia medzi nRF2401A a HCS08

Rovnako ako u asynchronnej komunikácie je dôležité určiť poradie prenášaných bitov. Kedy je na dátovom vodiči hodnota bitu jednoznačne určuje hodinový signál, ktorý dáta sprevádza po špeciálnom vodiči.

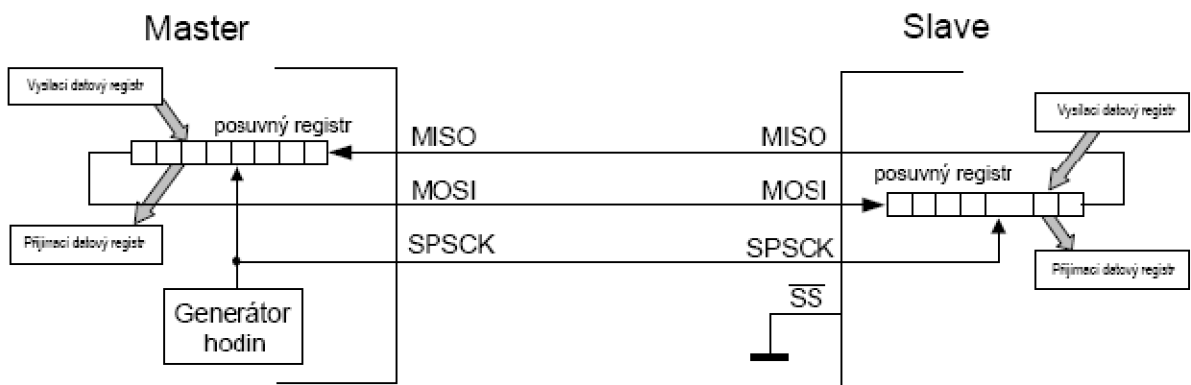


Obrázok 5.11: Synchronne sériový prenos [13]

Menej často sa hodinový signál kóduje spolu s dátami prostredníctvom modulácie a prenášajú sa tak dáta i hodinový signál po spoločnom vodiči (NRZI, MFM, ...). O ktorý bit sa v ktorom takte hodinového signálu jedná je dané práve poradím, ktoré musí byť dopredu dohodnuté. Nie je treba dopredu dohodnúť prenosovú rýchlosť (za predpokladu dodržania hranice, ktorú prijímač a vysielač ešte zvládajú). Prenosovú rýchlosť udáva takt hodinového signálu. Často sa taktiež nepoužíva žiadnych režijných bitov na dátovej linke (start-bit, stop-bit), ale môžu existovať i výnimky (rozhranie klávesnice PC-AT, zbernica I2C, ...).

### 5.2.3.1 ROZHRIANIE SPI

Väčšina zástupcov mikrokontrolérov rady HCS08 obsahuje okrem modulu sériového asynchrónneho rozhrania SCI taktiež modul synchronného sériového rozhrania SPI (**Serial Peripheral Interface**). Ako už názov napovedá, ide o rozhranie určené k pripojeniu periférií, môže však byť taktiež využité ku komunikácii medzi MCU. Toto rozhranie umožňuje okrem spojenia „*point-to-point*“, teda spojenia dvoch zariadení, taktiež vytvorenia akejsi zbernice, prepojenia viacerých komponent, z nich avšak iba **dvojica** môže v jednom okamžiku komunikovať. Rozhranie SPI je plne duplexné, v každom okamžiku prebieha prenos obidvoma smermi.



Obrázok 5.12: Komunikácia na rozhraní SPI [13]

Každé zariadenie pripojené na rozhranie SPI môže byť v jednom z dvoch režimov. Buď je to režim „*master*“, v našom prípade je to MCU. Druhým režimom je „*slave*“, čo je v našom prípade obvod nRF2401A. Zariadenie v režime „*master*“ je zariadenie, ktoré generuje hodinový signál na príslušný vodič. Len jedno zariadenie by malo byť v režime „*master*“. Pokiaľ je viac zariadení v režime „*slave*“, práve zariadenie „*master*“ rozhoduje o tom, ktoré zo zariadení „*slave*“ mu bude partnerom v komunikácii. Vodiče sa na mikrokontroléri volajú **MISO** a **MOSI**. Je tým vyjadrený smer toku dát podľa režimu, v ako sa modul SPI nachádza. MISO znamená *Master In, Slave Out*, teda pokiaľ je SPI v režime „*master*“, chová sa tento vodič ako vstup dát, v režime „*slave*“ je to výstup dát. U vodiča MOSI je tomu presne naopak (*Master Out, Slave In*). Hodinový signál sa šíri po vodiči **SPSCK** (*SPI Serial Clock*), ktorý sa chová ako výstup u modulu SPI v režime „*master*“ a ako vstup u modulu v režime „*slave*“. Je tomu tak preto, že hodinový signál vysiela práve to zariadenie, ktoré je „*master*“. Posledný signál **SS**, je pre modul SPI v režime „*slave*“ vstupom, ktorý vyberá tento modul pre komunikáciu s „*master*“-om. Pokiaľ nie je na vstupe SS hodnota log. „0“, modul sa nezúčastní komunikácie. V režime „*master*“ je možné vývod SS použiť buď ako bežný univerzálny vstupný či výstupný vývod portu alebo sa za určitých podmienok chová podobne ako v režime „*slave*“. To môže

byť užitočné, pokiaľ sa na rozhraní SPI objaví z nejakých dôvodov ďalšie zariadenie v režime „master“ a chce pôvodného umlčať. Je to akási poistka proti zabráneniu kolízie na dátových vodičoch.

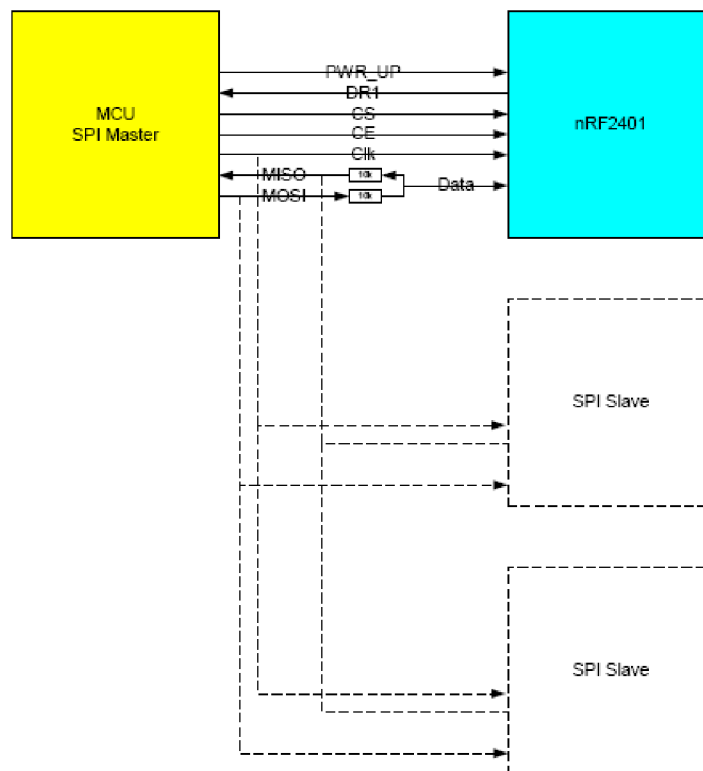
Pretože logické hodnoty sa prenášajú po vodičoch ako napätové úrovne, je treba, aby všetky zariadenia spojená cez SPI mali rovnaký potenciál zeme (**GND**).

Na rozdiel od rozhrania SCI, kde vysielateľ a prijímač pracujú úplne samostatne a tok dát obidvoma smermi môže prebiehať na sebe úplne nezávisle, u rozhrania SPI tomu tak nie je. „Master“ zaháji vysielanie tým, že začne generovať hodinový signál a v jeho takte vysúva na vývod MOSI jeden za druhým dátové bity z posuvného registru linky, zároveň však z druhého konca nasúva do registru bity z vývodu MISO (teda bity, ktoré prichádzajú od „slave“) ako zobrazuje predchádzajúci obrázok. Po 8 (resp. 9) taktach môže ako „master“ tak aj „slave“ prečítať novo prijaté dáta zo svojho prijímacieho dátového registru a zapísať nové dáta do vysielacieho dátového registru.

Obvod nRF2401A pracuje v režime „slave“ a jeho rozhranie je zložené z troch vodičov:

- ◆ DATA,
- ◆ CLK,
- ◆ CS.

Pričom vodič DATA je spoločný pre komunikáciu obidvoma smermi. V prípade kedy sú dáta dostupné v nRF (platí pre mód ShockBurst™) a je ich potrebné preniesť do MCU, slúži na to príznak na vodiči **DR (RX Data Ready)**, ktorým nRF2401A („slave“) informuje MCU („master“) o pripravených dátach.



Obrázok 5.13: Pripojenie nRF na SPI zbernicu [14]

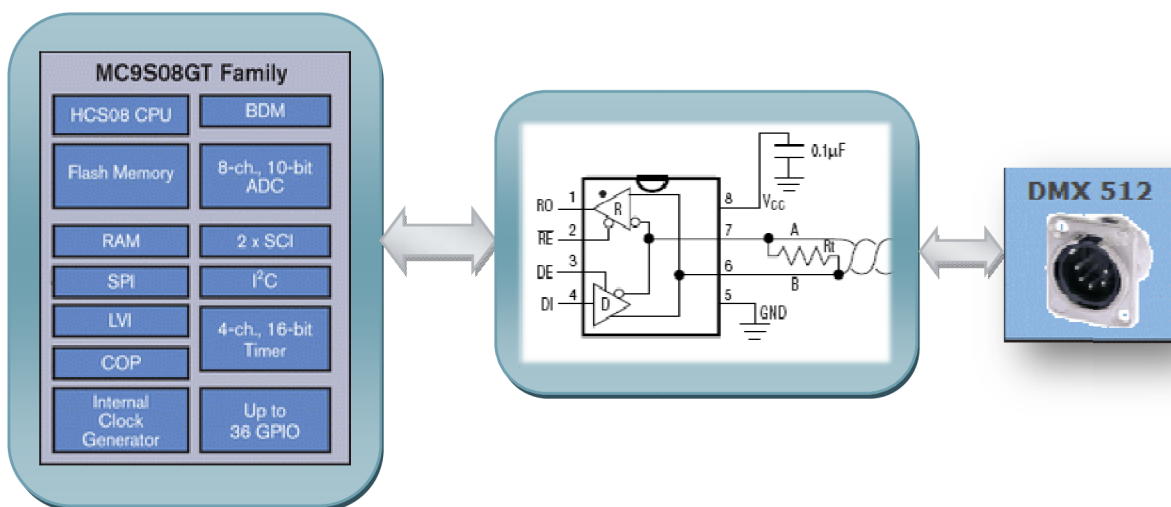
Otázkou teda ostáva, ako prepojiť rozhranie HCS08 SPI (plný duplex po dvoch vodičoch MISO a MOSI) s 3-vodičovým poloduplexným rozhraním nRF. Jedným z riešení je pripojiť DATA pin na SPI cez 2 **10k** rezistori.

Druhu možnosť nám ponúka samotný modul SPI. HCS08 umožňuje pracovať v tzv. **obojsmernom móde (Bidirectional Mode)**, kedy prebieha komunikácia po jednom vodiči **MOSI**, samozrejme v jednom časovom okamžiku len jedným smerom (poloduplexný prenos). Kedy tento vodič priamo spojíme s DATA pinom obvodu nRF2401A.

#### 5.2.4 PRIPOJENIE DMX ZBERNICE K MCU – SCI

DMX512 je ako už vieme z 2. kapitoly asynchrónny sériový prenos. Z toho vyplýva, že jedinú, čo nespĺňa normu DMX u modulu SCI sú napäťové úrovne. Vývody RxD a TxD modulu SCI pracujú s úrovňou log. „0“ blízko potenciálu zeme (GND, teda okolo 0V) a s úrovňou log. „1“ blízko napájaciemu napätiu MCU, oproti tomu DMX je diferenciálny spoj.

Riešením je použitie prevodníku úrovní MAX3075E. Veľkou výhodou je vstavaný zdroj kladného a záporného napájacieho napätia, takže postačí jedno jediné kladné napájacie napätie, ktoré je k dispozícii v každom číslicovom obvode.



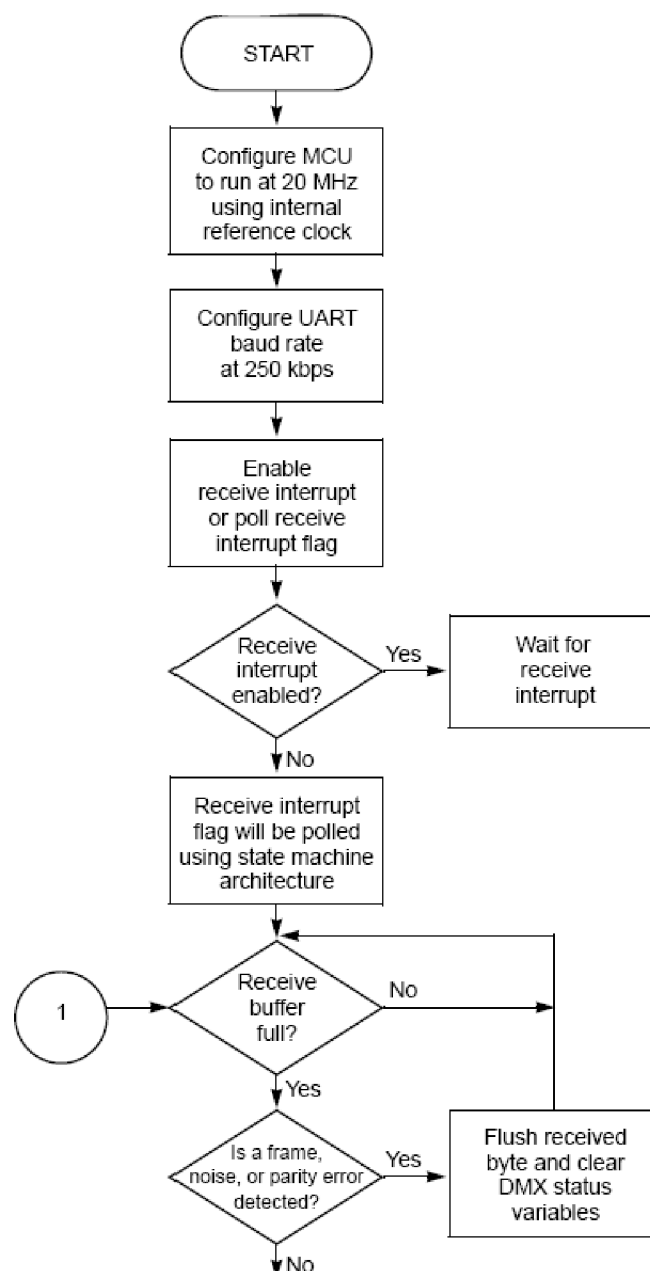
Obrázok 5.14: Pripojenie DMX k SCI

## 6 SOFTWAREVÉ RIADENIE SYSTÉMU - FIRMWARE

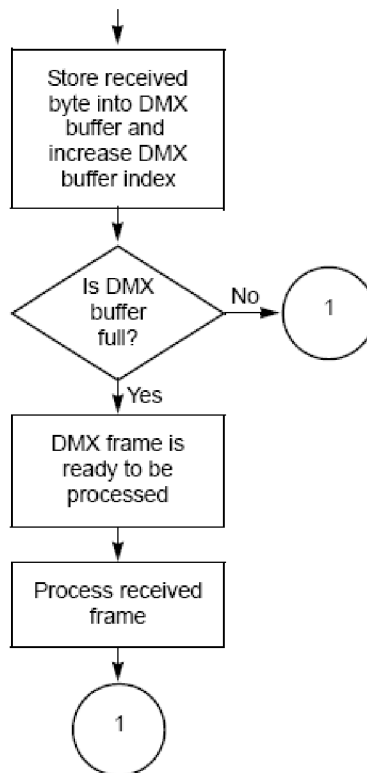
Cieľom tohto dokumentu bolo popísať najmä vývoj systému na bezdrôtový prenos signálu DMX512 z pohľadu hardwaru. Preto sa softwarovej stránke budeme venovať len okrajovo. Úlohu si rozdělíme na dve podkapitoly, tá prvá sa bude venovať spracovaniu signálu DMX512 a druhá návrhom softwaru (komunikačný protokol), ktorý zabezpečuje bezdrôtový prenos prostredníctvom transceiveru nRF2401, ide v podstate o implementáciu 3. vrstvy ISO/OSI modelu.

### 6.1 FIRMWARE PRE DMX512

Hardwarovej časti DMX sme sa venovali v predchádzajúcej kapitole. Z pohľadu softwaru (firmwaru) si bližšie popíšeme príjem DMX paketu, ktorý ukazuje nasledujúci vývojový diagram.







Obrázok 6.1: Prijem DMX paketu

Analogicky je vytvorené vysielanie DMX paketu, ktoré rovnako využíva modul SCI. Z pohľadu samotného programu sa v podstate jedná o implementáciu nasledujúcej rutiny prerušenia. Je dobré explicitne spomenúť, že som sa priklonil k implementácii pomocou prerušenia od SCI, ďalšou možnosťou by bol klasický „*polling*“.

```

/*****
**
** DMX_Receiver Interrupt Vector.
**
*****/
void interrupt 17 DMX512_Rx_ISR(void)
{
    /** Variable used to capture the SCI status register */
    UINT8 u8Status = 0;
    /** Variable used to store the Data register content */
    UINT8 u8Dummy = 0;

    u8Status = DMX512S1;
    u8Dummy = DMX512Data;

    if((u8Status & 0x20) !=0) /* Rx data buffer is full ?*/
    {
        if ((u8Status & 0x07) != 0) /* Check for Errors (Framing, Noise, Parity) */
        {
            u8Dummy = DMX512Data;
            DMX512Comm.offset = 0 ;
            DMX512Comm.status = DMX512_RX_DATA ;
            return;
        }

        DMX512Comm.buffer1[DMX512Comm.offset++] = u8Dummy;
    }
}
  
```

```

        if( DMX512Comm.offset >= DMX_BUFFER_SIZE )      /* Check if DMX buffer
is full */
        {
            DMX512Comm.offset = 0 ;                      /* Reset RX buffer
counter */
            DMX512Comm.status = DMX512_RX_PROC_MSG ;
        }
    }
}

```

Takto teda vyzerá obslužná rutina na príjem DMX paketu. Vyslanie DMX paketu je o niečo zložitejšie, pretože potrebuje k svojej činnosti aj časovač, ktorým zabezpečíme správne časovanie priebehu vysielaného DMX signálu.

```

/*****
**
* DMX_Transmitter Interrupt Vector.
*/
/*****
void interrupt 18 DMX512_Tx_ISR(void)
{
    UINT8 u8Status = 0;

    u8Status = DMX512S1;

    if( DMX512Comm.offset >= DMX_BUFFER_SIZE ) {
        DMX512Comm.offset = 0;
        PTED_PTED0 = 0;
        DMX512C2 = DMX512_RESET_VALUE;
        DMX512Comm.status = DMX512_TX_RESET1;
        return;
    }

    DMX512Data = DMX512Comm.buffer1[DMX512Comm.offset++];
}

```

Druhým časovačom vytvárame potrebné časové medzery a tým dodržiavame správny formát DMX protokolu, tak ako sme ho opísali v druhej kapitole.

```

/* Timer Overflow Interrupt */
void interrupt 14 timeOverFlowInterrupt2(void)
{
    TPM2SC &= 0x7F;

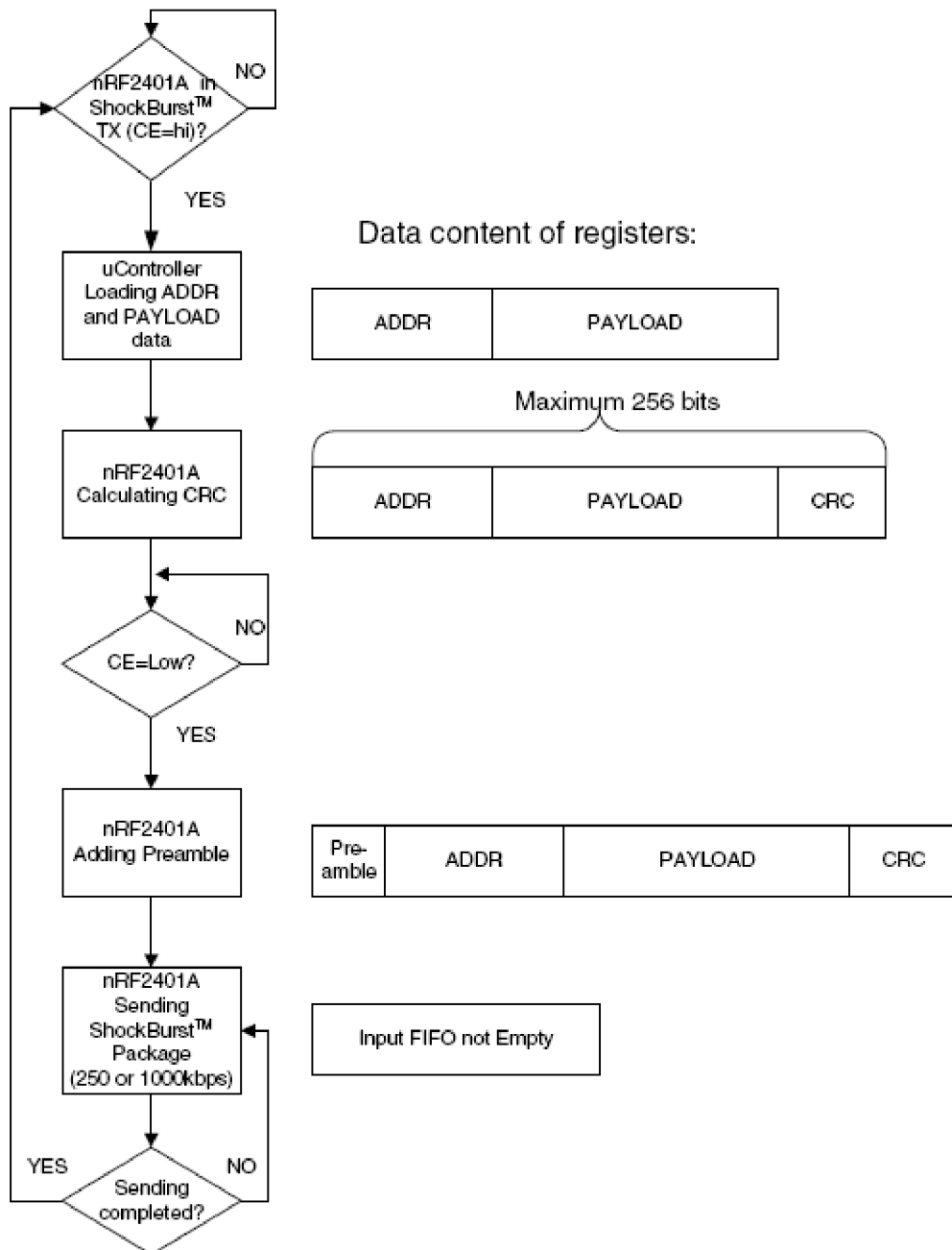
    if (DMX512Comm.status == DMX512_TX_RESET1) {
        timerDMX++;
        if (timerDMX >= 22) { // RESET - 2 ramce = 22 bitov, 88us
            DMX512C2 = 0b00001000;
            DMX512Comm.status = DMX512_TX_IDLE;
            timerDMX = 0;
        }
    }
    if (DMX512Comm.status == DMX512_TX_IDLE) {
        timerDMX++;
        if (timerDMX >= 2) { // IDLE - 8us
            DMX512C2 = CONFIG2_DM512_TX_ISR_EN;
            DMX512Comm.status = DMX512_READY;
            timerDMX = 0;
        }
    }
}

```

## 6.2 FIRMWARE PRE BEZDRÔTOVÝ PRENOS S NRF2401A

Podobne ako to bolo pri implementácii DMX protokolu, aj tu sa problém rozpadá na dva samostatné celky respektíve programy. Jeden je implementácia firmwaru pre ovládanie obvodu nRF ako vysielača – **TX** a druhý analogicky ako prijímača - **RX**. Štruktúru daného programu zobrazujú nasledujúce vývojové diagramy.

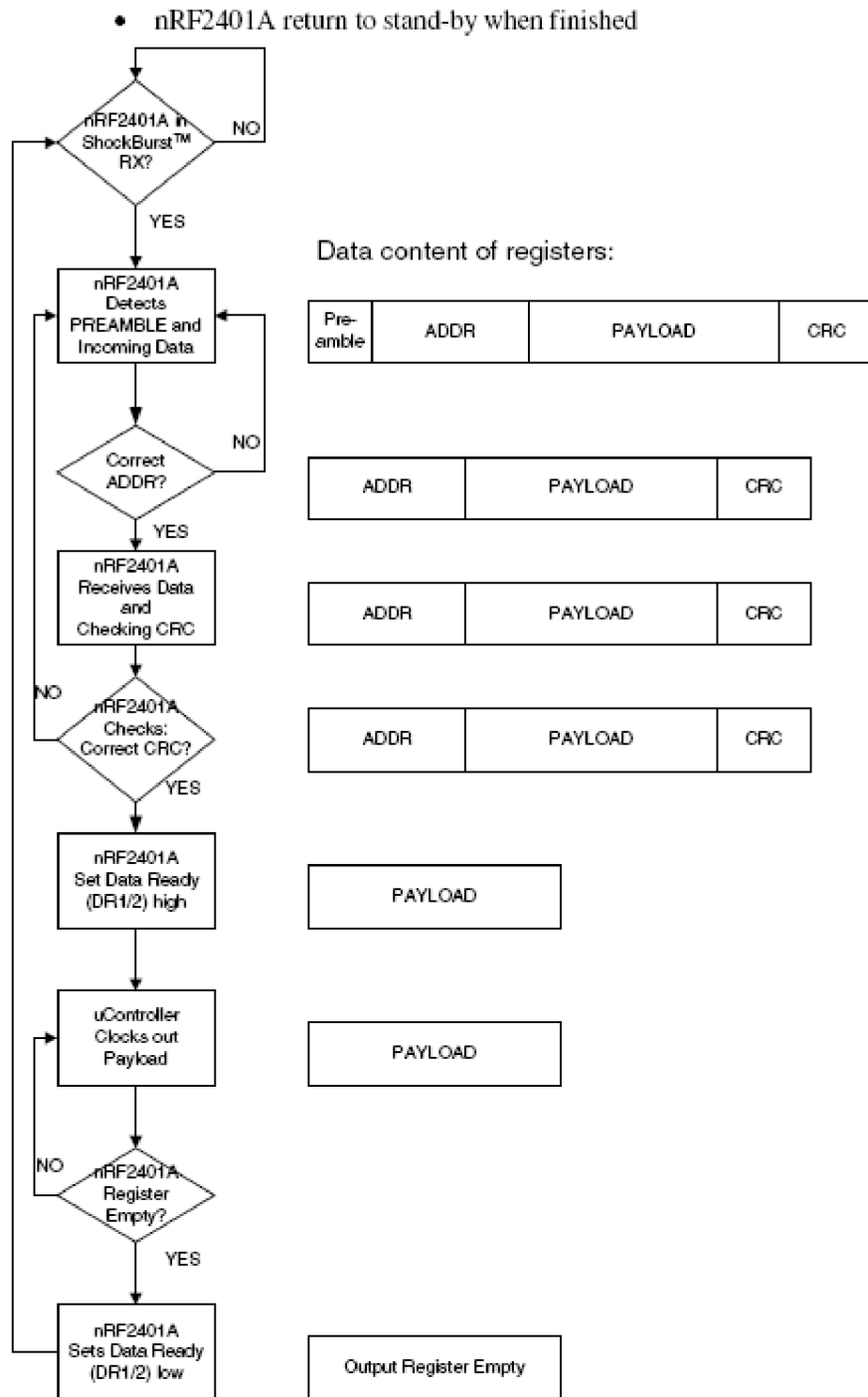
### 6.2.1 VÝVOJOVÝ DIAGRAM VYSIELANIA DÁT - TX



Obrázok 6.2: Vysielanie dát v režime ShockBurst™ [12]

MCU nahrá prostredníctvom SPI do nRF adresu a užitočné dáta. nRF z toho vypočíta CRC súčet a doplní ho na koniec dátového paketu. Ďalej pridá *preamble*<sup>10</sup> a takto zostavený paket zaraďuje do fronty na odoslanie. Maximálna dĺžka paketu (adresa + dáta + CRC) je obmedzená veľkosťou vnútorných registrov na 256 bitov.

## 6.2.2 VÝVOJOVÝ DIAGRAM PRÍJÍMANIA DÁT - RX

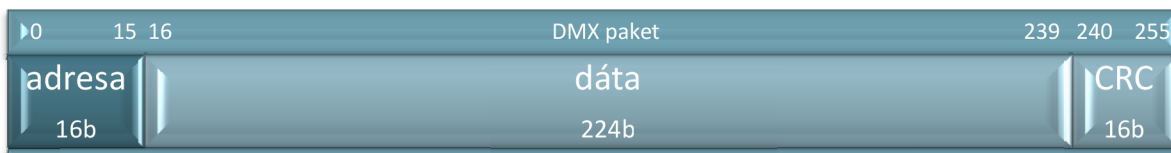


Obrázok 6.3: Prijímanie dát v režime ShockBurst™ [12]

<sup>10</sup> 8-bitová hodnota potrebná prijímaču pre detekciu správnych dát „vo vzduchu“ a pre synchronizáciu vysielateľa a prijímača

Tu je situácia z pohľadu programátora jednoduchšia. Obvod prijímača – **RX** podľa pridanej časti *preamble* je schopný rozpoznať vysielané dáta a podľa adresy určí komu dáta skutočne patria. V prípade, že je adresa totožná s adresou prijímača, t.j. dáta sú určené jemu, skontroluje ešte prípadný CRC súčet a oznámi MCU prostredníctvom logickej 1 na pine DRx (*Data Ready*), že dáta sú pripravené na prenos do MCU.

V kapitole 5. sme pri výpočte maximálnej rýchlosti naznačili aj štruktúru DMX paketu poslaného bezdrôtovo prostredníctvom obvodu nRF.



Obrázok 6.4: Formát DMX paketu prenášaného obvodom nRF

Výsledný paket po pridaní *preamble* vyslaný obvodom nRF má nakoniec túto podobu.



Obrázok 6.5: Formát nRF paketu

Z pohľadu samotného programu sa jedná o implementáciu a správne použitie nasledujúceho rozhrania *nRF.h*.

```
typedef struct RFConfig
{
    UINT8 n;
    UINT8 buf[18];
} RFConfig;
typedef struct packet
{
    UINT8 length;
    UINT8 buf[ADDR_LENGTH+PAYLOAD_LENGTH];
} packet;

/***** Deklaracia funkcií *****/

void delay100us(volatile UINT8 n);

void nRFconfig(const RFConfig *rconfPtr, UINT8 Rxtx);

void TXPacket(packet *bufPacketPtr);

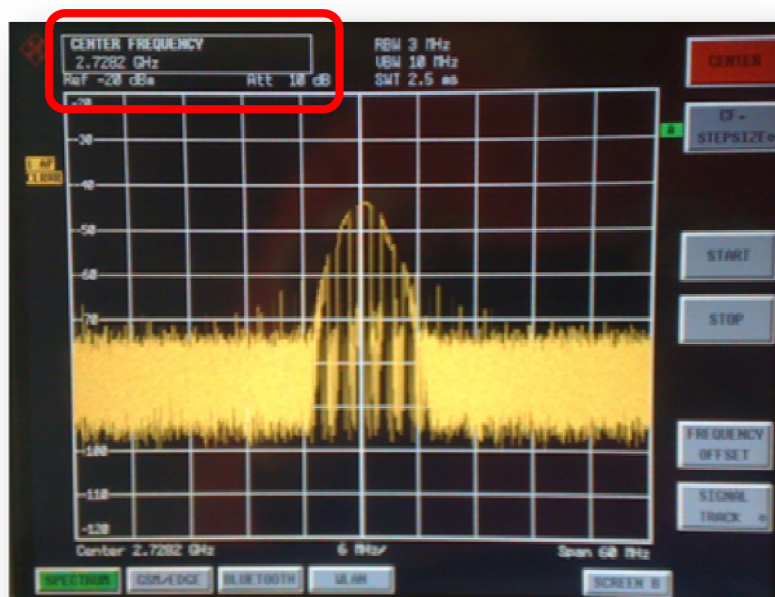
UINT8 RXPacket(packet *bufPacketPtr);

void BuildACK(UINT8 CCC, packet *bufPacketPtr);

void BuildDMXPacket(packet *bufPacketPtr);
```

## 7 OŽIVENIE A TESTOVANIE SYSTÉMU

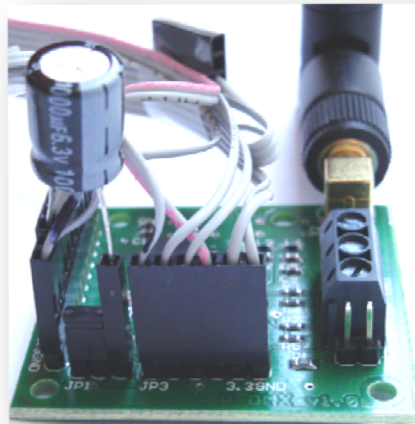
Je nutné dodržať správne časovanie, pretože to dokáže spôsobiť veľké komplikácie a tieto chyby sú veľmi ťažko odhaliteľné, obvod vykazuje zvláštne chovanie. O tomto som sa presvedčil aj sám, nevedome som nedodrжал vyššie popisovanú časovú medzeru pred nahraním konfigurácie a táto chyba spôsobila dosť vážne komplikácie a ťažko sa hľadala. Dva úplne zhodné obvody vykazovali odlišné správanie. Obvody dokonca začali vysielat' na frekvencii **2,7282GHz**, pričom ich rozsah by mal byť maximálne **2,524GHz**. Zábery z merania a oživovania systému nájdeme v prílohe 4.



Obrázok 7.1: Chovanie obvodu na spektrálnom analyzátore pri nedodržíaní časovania pri konfigurácii

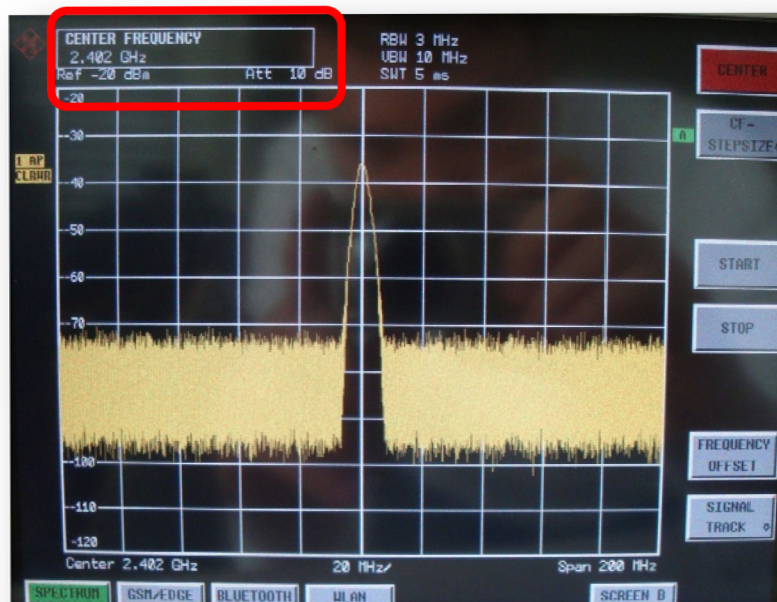
Pri ladení obvodu som narazil na „zvláštne“ chovanie bezdrôtového prijímača (resp. DMX budiča). Pri zapnutí budiča zbernice (MAX3075E) sa rapídne zvýšila chybovosť bezdrôtového prenosu. Pričom jediná spojitosť medzi týmito obvodmi bola v tom, že sú realizované na jednej DPS. To bol môj základný predpoklad k zisteniu chyby. Najskôr som uvažoval o bezdrôtovom rušení „vyžarovaním“ budiča DMX. Nakoľko však rušenie spôsoboval obvod MAX3075E len pri vysielaní DMX, začal som hľadať chybu inde a to v napájaní. Pri návrhu prototypu DPS som z dôvodu úspor využil stabilizovaný zdroj na doske riadiacej jednotky a toto napätie som priviedol na dosku bezdrôtového prenosu, kde som predpokladal stabilné napätie. Tento predpoklad však nebol správny, nakoľko každý vodič má svoj odpor, vytvorí sa na ňom pri odere prúdu úbytok napätia. Toto bola hlavná príčina zvýšenej chybovosti bezdrôtového prenosu. Pri zapnutí budiča sa samozrejme zvýši odber obvodu MAX3075E, na prívodnom vodiči vznikne úbytok a to sa prejaví na poklese napájacieho napätia pre celú dosku bezdrôtového prenosu. Pri takomto „zvlnenom“ poklese napätia obvod nRF2401A nedokáže udržať stabilnú frekvenciu a obvod fázového závesu nefunguje tak ako by mal. V tom prípade teda nie je schopný prijímať dáta na presnej frekvencii vysielateľa a tým pádom sa to rapídne prejaví na chybovosti prenosu. V našom prototypu som to vyriešil jednoduchým

vyhladením napájacieho napätia za pomoci kondenzátora, ktorý som zapojil doslova fyzicky na prívod stabilného napätia na dosku bezdrôtového prenosu.



Obrázok 7.2: Vyhľadovací kondenzátor na doske bezdrôtového prenosu

Na záver kapitoly by som ukázal priebeh zo spektrálneho analyzátoru, ktorý zobrazuje korektné chovanie systému. Obvod nRF vysiela na 2 kanále a teda na frekvencii **2402MHz**. Pre zvýšenie dosahu boli zamenené pôvodné antény za nové s vyššou citlivosťou, konkrétne **5dB**. Ďalšie zábery z priebehu merania a ožiovania systému nájdeme v **4. prílohe**.



Obrázok 7.3: Priebeh vysielania obvodu nRF2401A na spektrálnom analyzátore

## 8 ZÁVER

Na záver začnem s pozitívnou informáciou, že momentálne je systém pre prenos bezdrôtového signálu DMX512 plne funkčný a pripravený na testovanie v praxi. Spomeniem niektoré dôležité parametre, ktoré sú smerodajné pre systém tohto typu. Prvou informáciou, ktorá bude čitateľa najviac zaujímať je samozrejme dosah. Meranie som vykonával na voľnom priestranstve aj v budove. Na voľnom priestranstve bol dosah s **5dB** anténou až **300m** bez straty rýchlosti. V uzavretých priestoroch a budovách to samozrejme závisí od počtu „prekážok“ (počtu stien, hrúbky, tieniacich predmetov, ...), ale dá sa povedať, že medzi dvomi aj tromi miestnosťami je prenos úplne bezproblémový. Ďalej by som spomenul, že s vytvoreným firmwarom systém funguje v „topológii hviezdy“ a navyše podporuje vysielanie typu „broadcast“, čo umožňuje mať len jeden vysielач a niekoľko prijímačov (limitujúcim faktorom je len vzdialenosť od vysielачa, takže teoreticky je ich možné mať neobmedzené množstvo, prakticky to však závisí od útlmu každého prijímača).

V kapitole testovania a oživovania systému sme sa zmienili o probléme zvlneného napájacieho napätia na strane prijímača nRF 2401A. Tento problém je v prvej verzii odstránený použitím spomínaného kondenzátora a pri výrobe novej DPS sa tento problém odstráni hneď viacerými riešeniami. Prvým je fakt, že v navrhovanej verzii bude tvoriť systém jeden fyzický celok (jedna DPS) a teda nebude potrebné napájanie pomocou prepojavacích vodičov. Navyše sa pri návrhu bude dbať na správne rozmiestnenie týchto dvoch vzájomne sa ovplyvňujúcich obvodov a na správny prívod napájania k nim. Na doske riadenia boli už vo verzii 1 použité tzv. „bypass“ kondenzátory, ktoré odstraňujú problémy tohto typu, problémom bolo, že neboli použité aj na doske pre bezdrôtový prenos, ktorá však bude v novej verzii spojená s doskou riadenia. Posledné „plus“ je použitie 4 vrstvovej DPS, kde dve vrstvy uprostred budú celé slúžiť na distribúciu napájania po celej doske a ich odpor pri tak veľkej ploche je zanedbateľný.

Ťažiskom práce však bol hlavne návrh a výroba potrebného hardwaru. Aj keď to možno z počiatku nebolo zrejmé, ale je to určite náročná etapa vývoja ES. Pokiaľ sa vývojom zaoberá jedna osoba a systém je vyrábaný v malom počte kusov, je to nielen finančne náročné, ale hlavne je problematické nájsť firmu, ktorá ponúkne svoj tovar a služby aj na výskumné účely obvykle v malom množstve a za prijateľnú cenu. Či už sa jedná o nákup niektorých komponent (tu však bola v etape voľby komponent kladená požiadavka, aby ich dostupnosť bola prijateľná) alebo výrobu DPS, respektíve jej osadenie. Rozhodol som sa aj napriek tomu, že obvod nRF2401A má púzdro **QFN**, osadiť dosku ručne, čo sa zdalo z počiatku veľmi riskantné. V prípade zlého osadenia stratím nielen samotný obvod, ale aj celú DPS a najmä stratím čas potrebný na novú objednávku súčiastok. Nakoniec však toto sťaženie bolo určite pre mňa veľkým prínosom nových informácií a skúseností aj mimo oblasť informatiky a elektroniky, ktorou sa zaoberám. Či už to bolo vlastnoručné osadenie kompletnej dosky vrátane súčiastok v QFN púzdre, tak aj nový rozhľad, ktorý som získal pri oslovovaní firiem a našej vzájomnej spolupráci.

Po testovaní obvodu v reálnom prostredí a kompletnom odladení prípadných nedostatkov sa chcem zamerať na jeho miniaturizáciu až to takej miery, aby tvoril súčasť konektoru XLR. Tu je však stále veľa limitujúcich faktorov, z ktorých najväčší je samozrejme daný rozmer a ďalej aj spôsob napájania takéhoto inteligentného bezdrôtového konektoru.



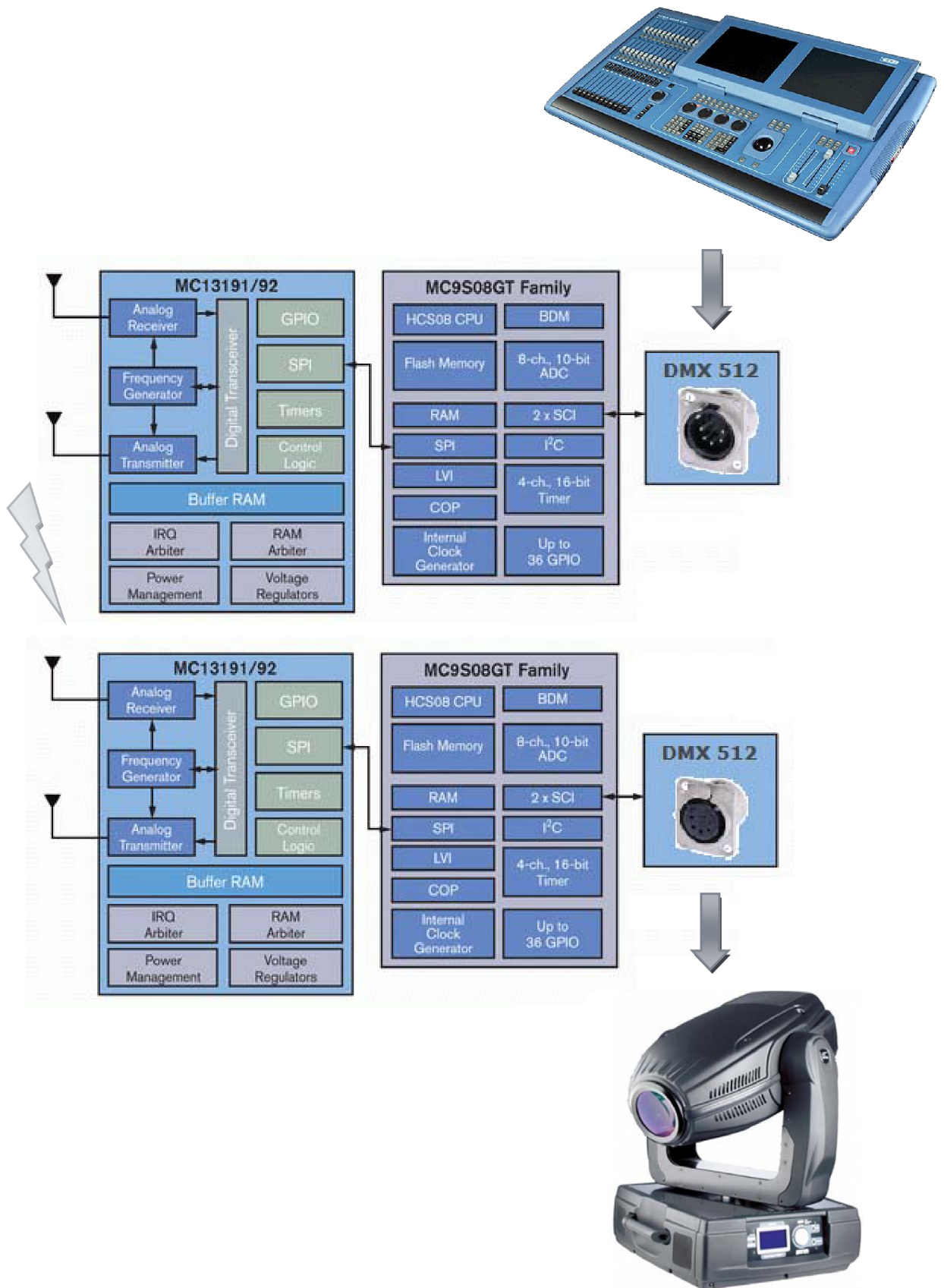
## 9 LITERATÚRA

- [1] **Vávra, Jiří.** *DMX512-A PROTOCOL CONTROL INTEGRATED DAC.* [pdf] Brno : FEEC VUT.
- [2] United States Institute for Theatre Technology. [Online] 2008. [Dátum: 26. 12 2008.] <http://www.usitt.org/>.
- [3] **Nušl, Jaroslav.** Protokol DMX512. *SOH.* [Online] 2008. [Dátum: 27. 12 2008.] <http://www.soh.cz/podpora/teorie>.
- [4] **Davis, Leroy.** EIA-458 Bus Interface IC Manufacturers. *RS-485 Bus.* [Online] 2008. [Dátum: 9. 3 2009.] [http://www.interfacebus.com/Design\\_Connector\\_RS485.html](http://www.interfacebus.com/Design_Connector_RS485.html).
- [5] **Kubelka, Miloš, Baďua, Vašek a Kraus, Alan.** Historie DMX 512. *Světla.cz.* [Online] 2002. [Dátum: 27. 12 2008.] <http://mujweb.atlas.cz/kultura/svetla/protokol.htm>.
- [6] **Šimek, Petr.** Co je DMX 512. *SĚTLA.CZ.* [Online] 2002. [Dátum: 28. 12 2008.] <http://mujweb.atlas.cz/kultura/svetla/dmx%20512.htm>.
- [7] **Semiconductor, Freescale.** *MC9S08GB60 Data Sheet.* [pdf] s.l. : Freescale, 12 2004. Rev. 2.3.
- [8] **Vojáček, Antonín.** Bezdrátová komunikace ZigBee a obvody Freescale. *hw.cz.* [Online] 2007. [Dátum: 30. 12 2008.] <http://hw.cz/novinky/freescale/art1997-bezdratova-komunikace-zigbee-obvody-freescale.html>.
- [9] **NORDIC.** nRF2401A Transceiver. *NORDIC Semiconductor.* [Online] 2008. [Dátum: 31. 12 2008.] <http://www.nordicsemi.com/index.cfm?obj=product&act=display&pro=64#>.
- [10] Desky s plošnými spoji - historie a současnost jejich výroby. [Online] <http://www.hw.cz>.
- [11] Úvod do Povrchové montáže - SMT. [Online] 2007. <http://www.smd.cz>.
- [12] **Rosten, Nordic Semiconductor ASA - Vestre.** *Product Specification nRF2401A.* [pdf] Norway : Nordic Semiconductor, 2006. Revision: 1.1.
- [13] **Schwarz, J., Růžička, R. a Strnadel, J.** Mikroprocesorové a vestavěné systémy. *Studijní opora.* Brno, 1. 2006.
- [14] **Rosten, Nordic Semiconductor ASA - Vestre.** *Interfacing nRF2401 with SPI.* [pdf] Norway : Nordic Semiconductor, 2003.
- [15] **Očenášek, Pavel a Trchalík, Roman.** *ZigBee.* [pdf] Brno : VUT FIT, 2008.

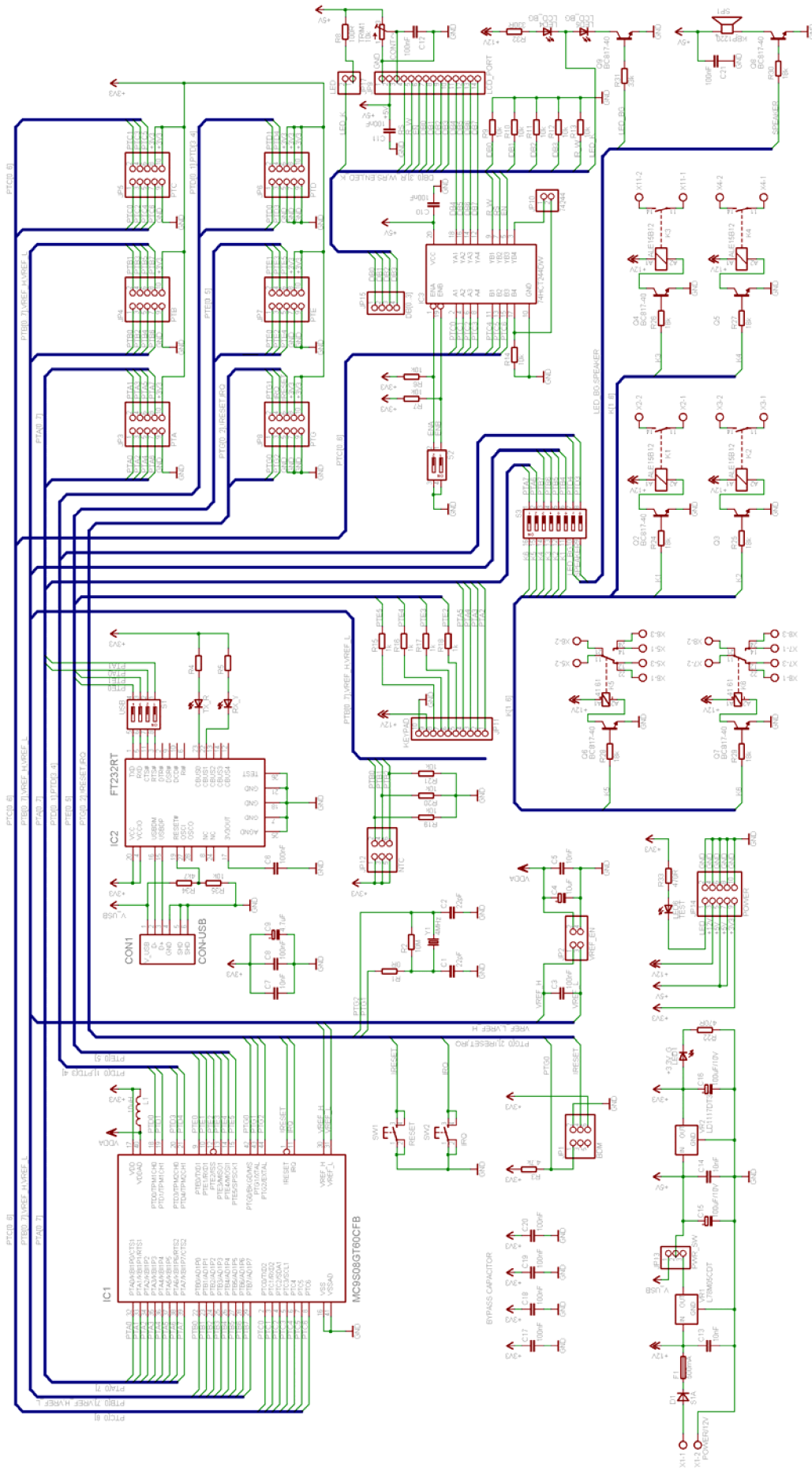
## 10 ZOZNAM PRÍLOH

<i>Príloha 1.</i>	Bloková schéma
<i>Príloha 2.</i>	Elektrická obvodová schéma riadiacej jednotky a
<i>Príloha 3.</i>	nRF a DMC transceiverov z programu <i>EAGLE</i> .
<i>Príloha 4.</i>	Fotky z merania a testovania vyvíjaného systému wireless DMX.
<i>Príloha 5.</i>	CD obsahujúce: <ul style="list-style-type: none"><li>dokument DIP v zdrojovom formáte pdf,</li><li>zdrojový súbor obvodovej schémy a</li><li>zdrojový súbor DPS z programu <i>EAGLE</i>,</li><li>zdrojové súbory softwaru wireless DMX v jazyku C v prostredí CodeWarrior IDE version 5.9.0,</li><li>ďalšie užitočné súbory (Data Sheet, video z merania, fotografie apod.).</li></ul>

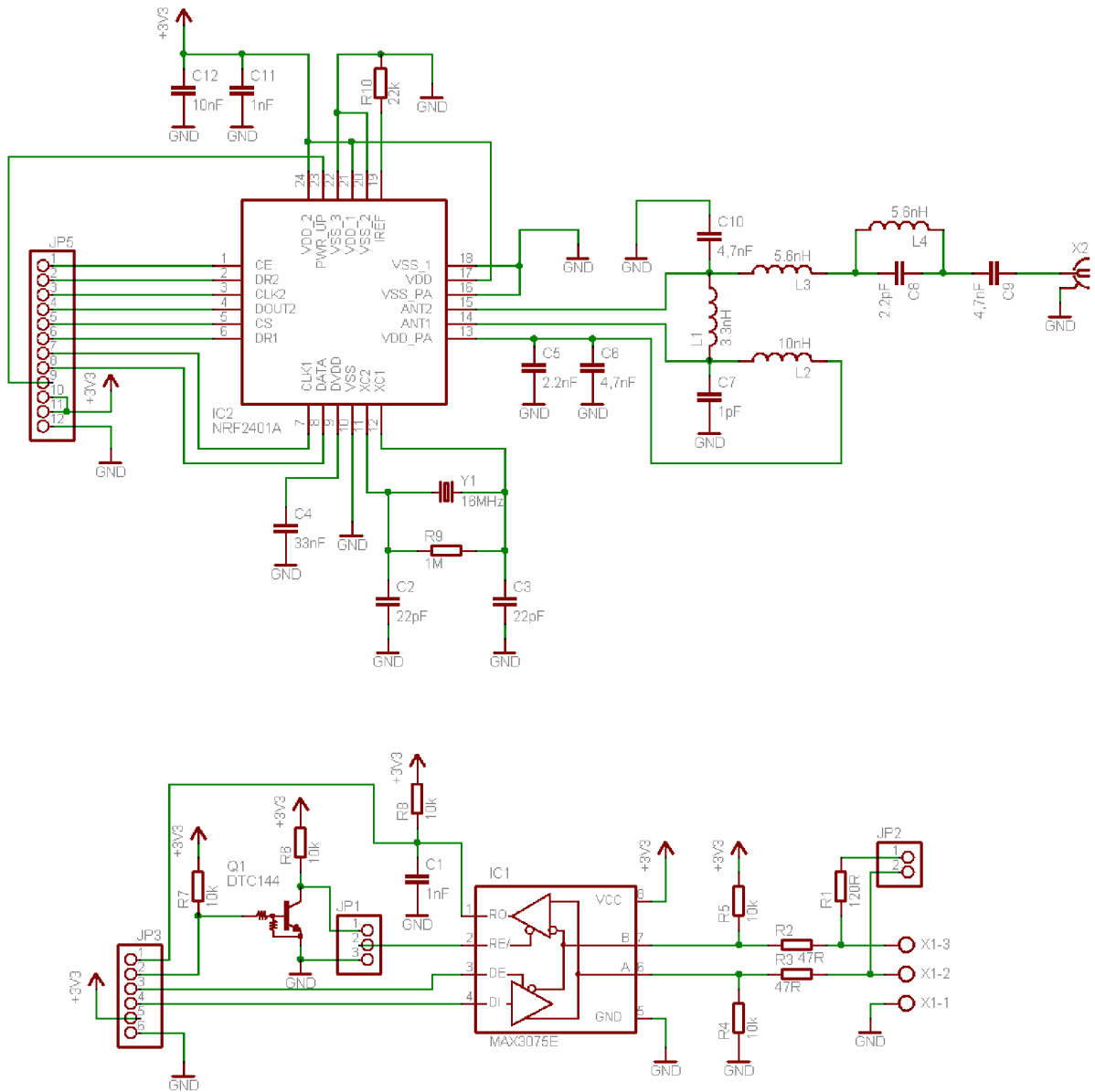
# 1. Príloha – Bloková schéma



## 2. Príloha - obvodová schéma riadiacej jednotky



### 3. Príloha - obvodová schéma W-DMX v1.0



#### 4. príloha – zábery z merania

