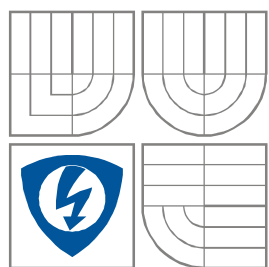


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# RFID IDENTIFIKACE ZASTÁVEK MHD PRO NEVIDOMÉ

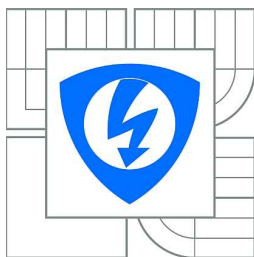
RFID BUS-STOP IDENTIFICATION FOR SIGHTLESS PEOPLE

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Radomír Straka  
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Martin Dušek  
SUPERVISOR

BRNO, 2012



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav radioelektroniky**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Bc. Radomír Straka

**ID:** 106795

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2011/2012

## NÁZEV TÉMATU:

**RFID identifikace zastávek MHD pro nevidomé**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou RFID. Najděte vhodný způsob umístění RFID tagů na kovové konstrukce. Proveďte experimentální ověření. Prostudujte a vyberte obvody pro RFID čtečku, tagy a hlasový modul. Sestavte blokové schéma.

Navrhněte obvodové schéma bloků řízení, čtečky a hlasového modulu. Navrhněte a vyrobte desky plošných spojů.

Navržené řešení v modulární struktuře zkonstruuje jako funkční prototyp. Zařízení otestujte v praxi.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry. Praha : BEN - technická literatura, 2004.

[2] LEHPAMER, H., RFID Design Principles. London : Artech House, 2008. 291 s.

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 18.5.2012

**Vedoucí práce:** Ing. Martin Dušek

**Konzultanti diplomové práce:**

**prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce je navrhnout zařízení pro identifikaci zastávek MHD pro nevidomé. Nejdříve je práce zaměřena na seznámení s problematikou systému RFID, popisuje jednotlivé části tohoto systému, jejich vzájemnou komunikaci a vyhodnocuje možnosti použití jednotlivých frekvenčních pásem. Následně práce popisuje blokové schéma celého zařízení. Dále se zaměřuje na zapojení jednotlivých bloků zařízení. Je vybrán obvod pro RFID čtecí modul, hlasový modul, výběr vhodného transpondéru pro umístění na kovové konstrukce a řídicí část zařízení. U každého z těchto bloků zařízení je uvedeno schéma zapojení a popis řídicího programu. Podklady pro konstrukci zařízení jsou uvedeny v příloze.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

RFID, EM4095, transpondéry RFID, ISD1730, ATmega32, SD karta, LF tag

## **ABSTRACT**

The aim of this master's thesis is to design a device for identification of bus stops for blind people. In the beginning the work describes information about the RFID system, characterizes each part of this system, mutual communication of its components and evaluates possibilities of RFID communication frequency bands. Subsequently the work describes the block diagram of the device and the circuit scheme of each block. Work concentrates on a selection of circuit components for the RFID transceiver, the voice module, the control module and choose a suitable transponder to place it on metal constructions. Control programs are also described. PCB design of each board, partlists and source codes are in the appendices of this master's thesis.

## **KEYWORDS**

RFID, transceiver circuit EM4095, transponders RFID, voice circuit ISD1730, ATmega32, SD card, LF tag

STRAKA, R. *RFID identifikace zastávek MHD pro nevidomé*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2012. 43 s., 16 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Martin Dušek.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma RFID identifikace zastávek MHD pro nevidomé jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Duškovi a Ing. Michalu Fuchsovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

Výzkum realizovaný v rámci této diplomové práce byl finančně podpořen projektem CZ.1.07/2.3.00/20.0007 **Wireless Communication Teams** operačního programu **Vzdělávání pro konkurenceschopnost**.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Finanční podpora byla poskytnuta Evropským sociálním fondem  
a státním rozpočtem České republiky.

# OBSAH

|                                              |             |
|----------------------------------------------|-------------|
| <b>Seznam obrázků</b>                        | <b>xi</b>   |
| <b>Seznam tabulek</b>                        | <b>xiii</b> |
| <b>Úvod</b>                                  | <b>1</b>    |
| <b>1 Informace o RFID</b>                    | <b>2</b>    |
| 1.1 Jak RFID systémy pracují?                | 2           |
| 1.2 Popis komunikace                         | 3           |
| 1.3 Princip komunikace                       | 4           |
| 1.3.1 LF a HF frekvence                      | 4           |
| 1.3.2 UHF a mikrovlnné frekvence             | 5           |
| 1.4 EPC (Electronic Product Code)            | 6           |
| 1.5 Frekvence použité u RFID                 | 6           |
| 1.6 Transpondéry (tagy)                      | 7           |
| 1.6.1 Dělení tagů na aktivní a pasivní       | 8           |
| 1.6.2 Dělení tagů podle přístupu             | 9           |
| 1.6.3 Dělení podle tříd                      | 9           |
| 1.6.4 Druhy tagů podle provedení             | 9           |
| <b>2 Jednotlivé prvky zařízení</b>           | <b>11</b>   |
| 2.1 Blokové schéma                           | 11          |
| 2.2 Výběr obvodu pro RFID čtečku             | 11          |
| 2.2.1 EM4095                                 | 12          |
| 2.2.2 Popis obvodu EM4095                    | 12          |
| 2.2.3 Komunikace se čtecím tagem (Read-Only) | 15          |
| 2.3 Výběr vhodného tagu                      | 15          |
| 2.3.1 Obvod tagu EM4102                      | 19          |
| 2.4 Program pro čtení dat z tagu             | 20          |
| 2.5 Výběr obvodu hlasového modulu            | 22          |
| 2.5.1 Funkce obvodu ISD1730                  | 23          |
| 2.6 Program pro přehrávání znaků             | 24          |
| 2.6.1 Knihovna funkcí pro přehrávání znaků   | 25          |
| 2.7 Řídící obvod                             | 27          |
| 2.8 Komunikace s SD kartou                   | 30          |
| 2.8.1 Tvorba názvu souboru                   | 30          |

|          |                                         |           |
|----------|-----------------------------------------|-----------|
| 2.8.2    | Knihovna pro ovládání SD karty .....    | 31        |
| 2.8.3    | Čtení datových souborů z SD karty ..... | 31        |
| 2.9      | Vývojové diagramy.....                  | 33        |
| 2.10     | Napájení zařízení .....                 | 38        |
| 2.10.1   | Proudové odběry .....                   | 40        |
| <b>3</b> | <b>Závěr</b>                            | <b>41</b> |
|          | <b>Literatura</b>                       | <b>42</b> |
|          | <b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b> | <b>43</b> |
|          | <b>Seznam příloh</b>                    | <b>44</b> |

# SEZNAM OBRÁZKŮ

|           |                                                                                                                |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1.1  | Typický RFID systém s pasivním tagem [3] .....                                                                 | 3  |
| Obr. 1.2  | Blokové schéma tagu pracujícího na nižších frekvencích (převzato z [1]) ...                                    | 4  |
| Obr. 1.3  | Principiální zapojení pasivního tagu (převzato z [1]) .....                                                    | 5  |
| Obr. 1.4  | Použití jednotlivých frekvenčních pásem pro různé typy aplikací (převzato z [4]).....                          | 7  |
| Obr. 1.5  | Příklady provedení RFID tagů (převzato z [5] [6]) .....                                                        | 8  |
| Obr. 2.1  | Blokové schéma navrženého obvodu.....                                                                          | 11 |
| Obr. 2.2  | Pouzdro obvodu EM4095 (převzato z [2]) .....                                                                   | 12 |
| Obr. 2.3  | Blokové schéma vnitřního zapojení obvodu EM4095 (převzato z [2]).....                                          | 13 |
| Obr. 2.4  | Typické zapojení obvodu EM4095 v režimu čtení (Read-Only) (převzato z [2]).....                                | 14 |
| Obr. 2.5  | Typické zapojení obvodu EM4095 v režimu čtení a zápisu (Read/Write) (převzato z [2]).....                      | 14 |
| Obr. 2.6  | Signály na jednotlivých částech systému při vysílání signálu z Read-Only tagu do čtečky (převzato z [2]) ..... | 15 |
| Obr. 2.7  | Schéma zapojení RFID čtečky [2] .....                                                                          | 17 |
| Obr. 2.8  | Průběh signálu na anténě RFID čtečky .....                                                                     | 17 |
| Obr. 2.9  | Graf čtecí vzdálenosti tagů.....                                                                               | 18 |
| Obr. 2.10 | Průběh hodinového signálu a datového bitu na výstupu RFID čtečky při použití tagu EM4102.....                  | 19 |
| Obr. 2.11 | Zobrazení organizace paměti tagu [9].....                                                                      | 20 |
| Obr. 2.12 | Signály na výstupních pinech RFID čtečky při čtení paměti tagu.....                                            | 20 |
| Obr. 2.13 | Signály na výstupních pinech RFID čtečky při čekání na komunikaci s tagem.....                                 | 21 |
| Obr. 2.14 | Organizace přijatých datových bitů v poli rfid_data[] .....                                                    | 21 |
| Obr. 2.15 | Vývojový diagram programu pro čtení datové paměti RFID tagu .....                                              | 22 |
| Obr. 2.16 | Signály na pinech hlasového obvodu při komunikaci .....                                                        | 26 |
| Obr. 2.17 | Schéma hlasového modulu [9].....                                                                               | 26 |
| Obr. 2.18 | Vývojový diagram programu pro adresované vymazání, nahrání a přehrání záznamu [9].....                         | 27 |
| Obr. 2.19 | Funkce jednotlivých ovládacích tlačítek.....                                                                   | 28 |
| Obr. 2.20 | Schéma zapojení řídicího obvodu 1.část.....                                                                    | 29 |
| Obr. 2.21 | Schéma zapojení řídicího obvodu 2. část .....                                                                  | 29 |

|           |                                                                      |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 2.22 | Příklad obsahu souboru jedné zastávky MHD.....                       | 31 |
| Obr. 2.23 | Vývojový diagram hlavního obsluhujícího programu zařízení .....      | 33 |
| Obr. 2.24 | Vývojový diagram podprogramu pro nastavení data a času RTC obvodu .. | 35 |
| Obr. 2.25 | Vývojový diagram podprogramu pro čtení ID RFID tagu.....             | 36 |
| Obr. 2.26 | Podprogram pro čtení dat z paměťové karty SD.....                    | 37 |
| Obr. 2.27 | Typické zapojení obvodu TPS61222 [14] .....                          | 38 |

# SEZNAM TABULEK

|        |                                                                          |    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1 | Příklad EPC kódu [1] .....                                               | 6  |
| Tab. 2 | Frekvenční pásma využitelná pro RFID v jednotlivých částech Země [1].... | 6  |
| Tab. 3 | Popis funkce jednotlivých pinů obvodu EM4095 [2] .....                   | 13 |
| Tab. 4 | Vybrané tagy pro otestování .....                                        | 16 |
| Tab. 5 | Naměřené čtecí vzdálenosti jednotlivých tagů .....                       | 18 |
| Tab. 6 | Uvedení parametrů obvodu při různých vzorkovacích frekvencích [9] .....  | 23 |
| Tab. 7 | Registry APC („Analog Path Configuration“) [9] .....                     | 23 |
| Tab. 8 | Tabulka používaných ASCII znaků .....                                    | 24 |
| Tab. 9 | Změřené hodnoty proudových odběrů částí zařízení .....                   | 40 |

# ÚVOD

V dnešní době bychom si jen těžko představili život bez identifikačních prostředků pro jednotlivé předměty, se kterými se v naší společnosti setkáme, ať už jde o drobné předměty nebo o velké celky. Identifikace může být různého charakteru, pokud nepočítáme s nápisy, tak je v dnešní době prozatím nejrozšířenější identifikace pomocí čárového kódu. Tento kód již používáme několik desetiletí a je rozšířen i v mnoha jiných oblastech, než pro který byl vyvinut. Již několik let v některých oblastech není použití čárového kódu ideální, protože tímto systémem lze v jednom okamžiku identifikovat jen jednu položku a je vyžadována přímá viditelnost na čárový kód. Tato nevýhoda je odstraněna u novějšího systému zvaného radiofrekvenční identifikace označovaného zkratkou RFID. Při jejím použití je možné v jednom okamžiku identifikovat více než jednu položku a také není nutná přímá viditelnost a dosah je větší.

Cílem této práce je navrhnout a zkonstruovat zařízení pro identifikaci zastávek MHD označených RFID transpondéry. Zařízení je primárně určeno pro nevidomé občany, musí bezdrátově zjistit u jaké zastávky se člověk nachází a hlasově o této skutečnosti informovat. Musí obsahovat čtecí zařízení pro čtení EPC kódu z RFID transpondérů, hlasový modul pro přehrávání hlasových sekvencí, paměť pro ukládání informací o zastávkách a mikrokontrolér pro řízení všech činností.

Při návrhu bylo preferováno co nejjednodušší zapojení obvodu, rozměry vhodné pro zabudování do přenosné krabičky a co nejnižší náklady na konstrukci zapojení.

# 1 INFORMACE O RFID

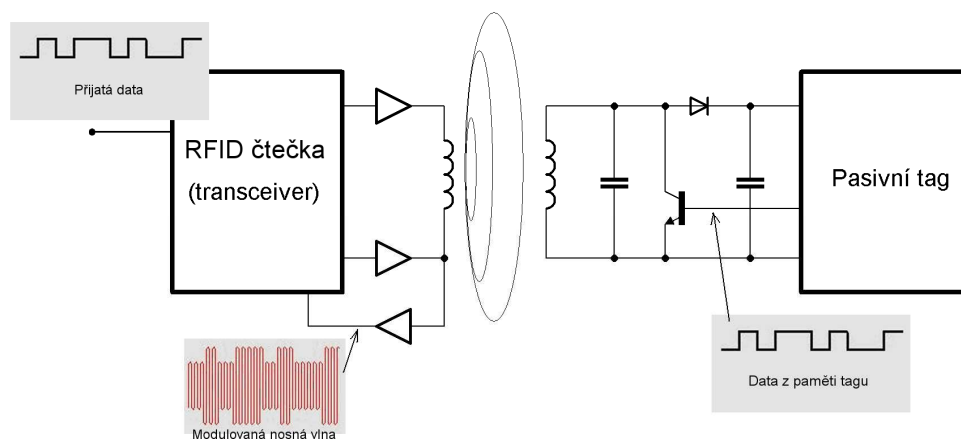
V překladu znamená zkratka RFID identifikaci na radiové frekvenci. Jedná se o bezdrátový přenos určitých informací na krátké vzdálenosti. Přenos se uskutečňuje mezi vysílačem, který je většinou nazýván RFID terminál či čtečka a přijímačem nazývaným RFID transpondér či tag, kterých může být i více. Čtecí vzdálenost se pohybuje od několika centimetrů do několika málo metrů, záleží na použitém frekvenčním pásmu, výkonu čtečky, anténě a vlivech prostředí. RFID systém se vyvinul z technologie čárových kódů a byl navržen pro jednodušší (automatické) sledování a evidování pohybu objektů (produktů) a lidí podobně jako již zmíněné čárové kódy, následně se začaly vyvíjet další aplikace s jejich použitím jako např. přístupové systémy, identifikace zvířat apod.

## 1.1 Jak RFID systémy pracují?

Typický RFID systém je zobrazen na Obr. 1.1. Nejčastěji se používají pasivní RFID tagy umístěné na objektu, který má být identifikován. Pasivní tag nemá integrovaný žádný zdroj el.energie, je napájen energií z radiové vlny vyslané z RFID čtečky nebo přes induktivní vazbu, z čehož vyplývá, že pokud není v okolí tagu aktivní vysílající čtečka, tak je tag neaktivní. Tag dále obsahuje čip s interní pamětí, ve které je uloženo jedinečné identifikační číslo obvodu, která musí být v každém tagu a volitelně i další informace, jejichž velikost je dána velikostí interní paměti tagu.

Další částí systému je čtečka, která je schopná číst i zapisovat data do tagů. Obsahuje většinou speciální integrovaný obvod, anténu a řídicí obvod. Nedílnou součástí je také nadřazený podsystém, který má za úkol řídit jaká data budou odesílána do tagu a zpracovávat data přijatá z tagu.

Systém funguje tak, že při přiblížení čtečky vysílající signál pro čtení k tagu, který je momentálně neaktivní (v případě aktivních tagů je v režimu spánku), se tag aktivuje (resp. „vzbudí“), přijme tento signál integrovanou anténou, přečte záznam (např. svoje jedinečné identifikační číslo) ve své vnitřní paměti a odešle záznam zpět ke čtečce. Čtečka přijatý signál zpracuje a nadřazenému podsystému odešle přijatá data, ten je dále může dle požadavků na systém kladených uložit a vyhodnotit.



Obr. 1.1 Typický RFID systém s pasivním tagem [3]

## 1.2 Popis komunikace

Komunikace probíhá následovně:

- Nadřazený systém řídí čtečku a zadává jí příkazy, čtečka komunikuje s tagem radiovým signálem.
- Čtečka neustále generuje sinusový nosný signál o frekvenci podle daného typu systému a neustále kontroluje, zda není přijat modulovaný signál, který je namodulován na vysílanou nosnou. Výskyt modulovaného signálu by znamenalo, že se v dosahu čtečky nachází aktivovaný tag. Nosný signál je vysílán anténou čtečky a přijímán anténou tagu.
- Jakmile tag přijme dostatečné množství energie ke svému napájení, aktivuje se a začne přenášet data z vnitřní paměti na výstupní tranzistor, (připojený k anténě).
- Tag změní nosný signál a zpět vysílá tento signál modulovaný, čemuž se říká zpětné pasivní záření (u UHF tagů se tomuto jevu říká backscattering). Výstupní tranzistor umístěný na tagu odpojuje cívku, sekvenčně zároveň s daty čtenými z interní paměti tagu, která jsou taktovány s taktovacím signálem.
- Na nižších kmitočtech se využívá induktivní vazba a amplitudová modulace (LF, HF tagy), na rozdíl od vyšších kmitočtů od 433 MHz (UHF, mikrovlnné tagy), kde se používá radio-komunikační spojení a principy zpětného záření.
- Odpojování cívky nebo zkratování antény znamená momentální kolísání nosného signálu, neboli malé změny amplitudy nosného signálu.
- Modulovaný signál přijatý na anténě čtečky je přiveden do obvodů čtečky, které z amplitudově modulovaného signálu dekódují data a zpracují výsledný datový tok podle použitého kódování a metodě datové modulace. Následně jsou data předána nadřazenému systému, který je dále zpracovává. [1]

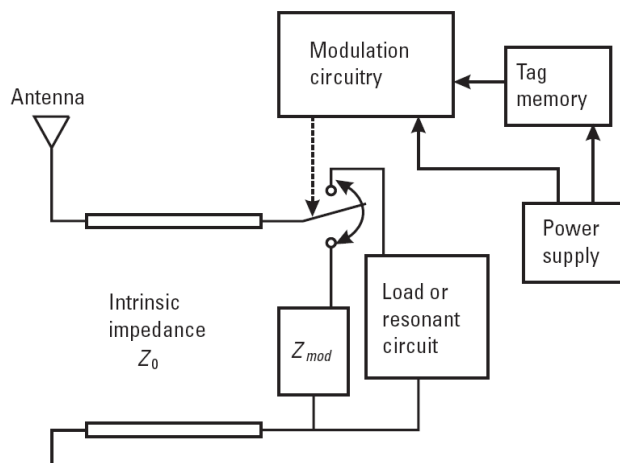
## 1.3 Princip komunikace

Existují dva způsoby spojení mezi čtečkou a tagem. Jsou rozděleny podle použité frekvence nosného signálu, podle níž se navrhne anténa a celý komunikující systém.

### 1.3.1 LF a HF frekvence

První z principů je využíván při nižších frekvencích nosného signálu, konkrétně pro nízké kmitočty LF, které jsou menší než 135 kHz a pro vysoké kmitočty HF, jejichž standardní kmitočet je 13,56 MHz. Tyto frekvence využívají k přenosu informací induktivní vazbu mezi anténami, kde je hlavním nositelem informace magnetické pole. Komunikace čtečky s tagem probíhá změnou modulace nosného signálu vysílaného čtečkou. [1]

Pokud je tag umístěn uvnitř měničeho se magnetického pole, které vytvořila čtečka, tag si z tohoto pole „vezme“ energii. Tuto skutečnost lze zaznamenat i na straně čtečky jako malou změnu napětí na anténě. V tagu se periodicky připojuje a odpojuje impedance zátěže, což způsobí amplitudovou modulaci napětí na anténě čtečky. Tato modulace je ovlivňována daty, která požadujeme odesílat z vnitřní paměti tagu do čtečky. [1]



Obr. 1.2 Blokové schéma tagu pracujícího na nižších frekvencích (převzato z [1])

Na Obr. 1.2 je blokově znázorněn principiální zapojení tagu. Radiová elektromagnetická vlna je přijata anténou, kde je energie přeměněna na proud. Dále prochází přenosovým vedením o impedanci  $Z_0$ , na jehož konci vlna narazí na diodu PIN, využívané zde jako přepínač dvou různých impedancí zátěže. Pokud je dioda v propustném směru, proud ní proteče do vhodné zátěže  $Z_L = Z_0$  rezonančním obvodem a činitel odrazu bude roven 0, žádná energie nebude proto odeslána přenosovým vedením zpět do antény. Při diodě připojené v závěrném směru (záporná půlplna) se bude impedance zátěže blížit k nekonečnu (připojeno k  $Z_{mod}$ ), čímž bude činitel odrazu roven 1, téměř všechna energie bude odeslána zpět po vedení do antény, kde bude vyzářena. Pokud je energie vyzářena zpět anténou ke čtečce, jedná se o odeslání logické 1, v opačném případě se jedná o odeslání logické 0. Tyto bity jsou přenášeny modulovaným signálem, přičemž se používají různé druhy kódování. [1]

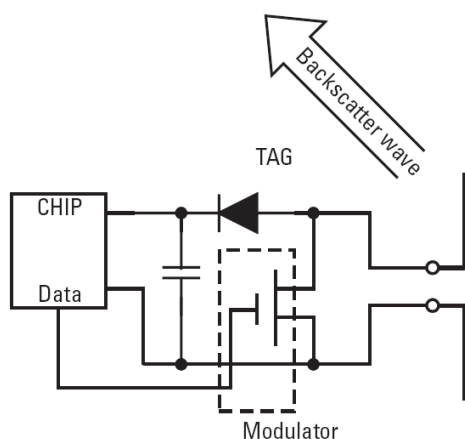
Proces modulace jak zde byl popsán vytváří amplitudově modulovaná postranní pásma umístěná symetricky kolem nosné frekvence. Odpovídací kódová modulace s vedlejší nosnou je implementována do většiny RFID čipů, kvůli relativně špatné vazbě antén čtečky a tagu a změnám napětí v tagu vedoucím k malému poměru signálu k šumu přijímaného signálu ve čtečce. Díky této pokročilé signalizační metodě je odpovídací informace obsažena ve zpětně vyzářených postranních pásmech, ty jsou poté ve čtečce demodulovány pomocí signálu základní frekvence. [1]

### 1.3.2 UHF a mikrovlnné frekvence

Druhý princip se využívá u frekvencí vyšších, konkrétně pro RFID jsou to kmitočty 860-960 MHz, 2,45 GHz a 5,6 GHz. U těchto frekvencí se využívá šíření elektromagnetického pole ve volném prostředí. Komunikace zde probíhá zpětným zářením tagu. Opakovaným připojováním a odpojováním antény tagu tranzistorem jsou způsobeny malé změny amplitudy nosného signálu. V okamžiku, kdy je tranzistor zkratující anténu tagu odpojen, na anténě čtečky se objeví momentální napěťový pokles. [1]

Elektromagnetické vlny se odrážejí od dostatečně hladkých objektů s rozměry většími než je polovina délky vlny. Efektivita, se kterou objekty odrážejí elektromagnetické vlny, je popsána jejich činitelem odrazu, který je závislý na vlnové délce, polarizaci elektromagnetické vlny, na elektrických vlastnostech objektu a na úhlu dopadu vlny na objekt. [1]

Na Obr. 1.3 je blokové zapojení pasivního RFID tagu. Čtečka vyzáří nemodulovaný signál, který dopadne na tag, jehož anténa jej zachytí. Část je absorbována a zbytek vyzářen zpět. Přepínač představovaný tranzistorem je připojen k anténě. Jeho uzavření způsobí absorbování jen malé energie tagem (okolo 10%, zbytek je odražen). Přepínač také slouží jako modulátor ovlivňovaný daty z paměti tagu. Provozní rozsah tagu je dán vyzářeným výkonem čtečky, citlivostí přijímače čtečky a ztrátami v prostředí v obou směrech (dány především vzdáleností) a minimálním potřebným přijatým výkonem pro aktivaci tagu (tj. energií, kterou se tag napájí). [1]



Obr. 1.3 Principiální zapojení pasivního tagu (převzato z [1])

## 1.4 EPC (Electronic Product Code)

Elektronický kód produktu je v podstatě centrální datový prvek RFID technologie. Je to kód skládající se z 96 bitů, který byl vytvořen Auto-ID Centrem. EPC kód se skládá z části identifikující výrobce a typ produktu, jeho příklad je v tabulce Tab. 1. Na rozdíl od čárových kódů je v EPC obsaženo speciální číslo, které je unikátní pro každý tag, takže lze identifikovat jednotlivé kusy zboží, na kterých je tag umístěn, kontrolovat jejich pohyb apod. [1]

EPC kód je složen z:

- 8 bitové hlavičky identifikující délku, typ, strukturu, verzi a generaci EPC
- 28 bitové číslo identifikující společnost nebo organizační jednotku (EPC Manager), 268 milionů firem
- 24 bitové číslo identifikující třídu (typ) produktu, 16 milionů tříd
- 36 bitové sériové číslo identifikující individuální položku, 68 miliard čísel
- Dále může být obsažena i informace o tom, jak se mají informace správně kódovat a dekódovat. [1]

Tab. 1 Příklad EPC kódu [1]

| Označení            | Hlavička | EPC Manager | Třída produktu | Sériové číslo |
|---------------------|----------|-------------|----------------|---------------|
| <i>Příklad kódu</i> | 016      | 38999       | 123456         | 200000000     |

## 1.5 Frekvence použité u RFID

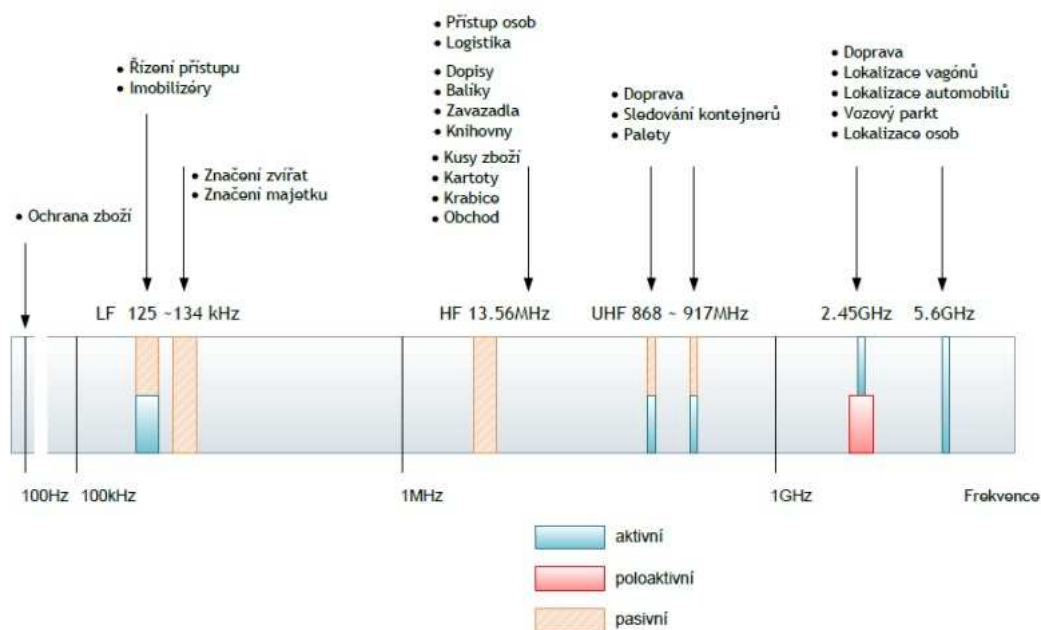
V následující tabulce Tab. 2 jsou uvedena jednotlivá frekvenční pásma, která lze použít pro RFID v různých částech Země. Je z ní patrné, že v Evropě lze využít většina zde uvedených frekvencí, jen v pásmu UHF lze využít frekvenční rozsah 865 – 868 MHz.

Tab. 2 Frekvenční pásma využitelná pro RFID v jednotlivých částech Země [1]

| Pásmo                        | Frekvenční rozsah   | Systém             | Země                                                                                                                |
|------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nízké frekvence (LF)         | 125 – 134 kHz       | Induktivní vazba   | USA, Kanada, Japonsko, Evropa                                                                                       |
| Vysoké frekvence (HF)        | 13,56 MHz           | Induktivní vazba   | USA, Kanada, Japonsko, Evropa                                                                                       |
| Velmi vysoké frekvence (VHF) | 433,05 – 434,79 MHz | Šíření el.mag. vln | Evropa, USA (aktivní tagy na stálém místě musí být registrovány FCC), v Japonsku povolení tohoto pásma projednávají |

|                              |                                    |                    |                                                                             |
|------------------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Ultra vysoké frekvence (UHF) | 865 – 868 MHz                      | Šíření el.mag. vln | Evropa, Střední východ, Singapur, Severní Afrika                            |
| Ultra vysoké frekvence (UHF) | 866 – 869 MHz<br>923 – 925 MHz     | Šíření el.mag. vln | Jižní Korea, Japonsko, Nový Zéland                                          |
| Ultra vysoké frekvence (UHF) | 902 – 928 MHz                      | Šíření el.mag. vln | USA, Kanada, Jižní Amerika, Mexiko, Taiwan, Čína, Austrálie, Severní Afrika |
| Ultra vysoké frekvence (UHF) | 952 – 954 MHz                      | Šíření el.mag. vln | Japonsko (jen pasivní tagy)                                                 |
| Mikrovlnné frekvence         | 2,4 – 2,5 GHz<br>5,725 – 5,875 GHz | Šíření el.mag. vln | USA, Kanada, Evropa, Japonsko                                               |

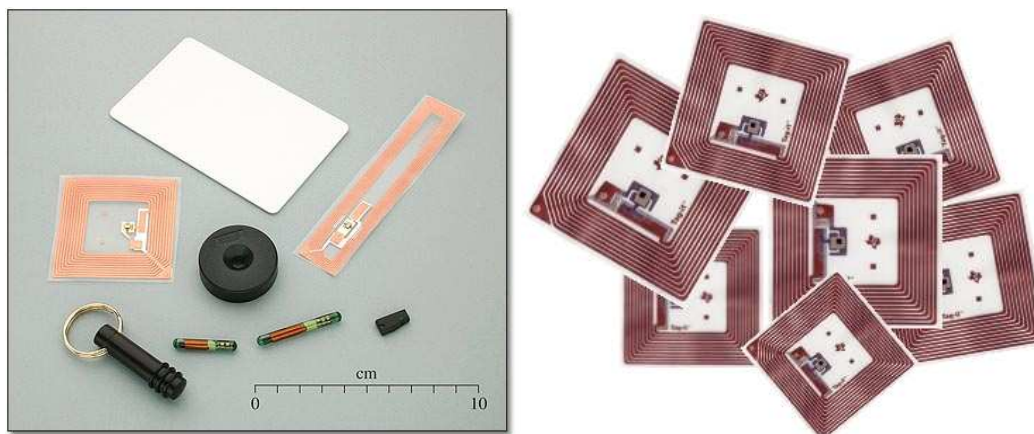
Na obrázku Obr. 1.4 je uvedeno použití jednotlivých frekvenčních pásem pro různé typy aplikací.



Obr. 1.4 Použití jednotlivých frekvenčních pásem pro různé typy aplikací (převzato z [4])

## 1.6 Transpondéry (tagy)

Podíváme-li se na RFID tagy z fyzického hlediska, jedná se o speciální miniaturní integrované obvody připevněné k podložce, dále připojené k anténě, která je vyleptána, napařena nebo natištěna na stejné podložce, která nese celý systém. Anténa bývá několikrát větší než daný obvod. Na Obr. 1.5 jsou uvedeny příklady provedení tagů.



Obr. 1.5 Příklady provedení RFID tagů (převzato z [5] [6])

### 1.6.1 Dělení tagů na aktivní a pasivní

- **Pasivní tagy** nemají integrovaný zdroj elektrické energie, jsou napájeny indukční vazbou mezi anténou čtečky a tagu. Zdroj energie je tímto limitován a proto je limitován i vysílací výkon tagu. Je zde používána metoda, kdy musí začít vysílat jako první čtečka. Většinou pasivní tagy vysílají jen identifikační číslo (EPC kód), nebo jen minimální data navíc. Taktéž mají omezenou vzdálenost čtení do 10 m, tagy musí být blíže u čtečky, než u aktivních tagů. Čtečí vzdálenost hlavně závisí na antenním obvodu a velikosti antény. Antenní obvod je tvořen rezonančním obvodem LC (pod 100 MHz) nebo dipólovou anténou, což záleží na použité nosné frekvenci. Použití pasivních tagů je ideální v aplikacích, ve kterých by byla obtížná výměna napájecí baterie např. při implantaci pod lidskou kůží. Pasivní tagy jsou v dnešní době více rozšířeny než aktivní a to kvůli jejich nízké ceně, odolnosti vůči vlivům prostředí a nenáročnosti na obsluhu. Velikost jejich paměti je od 64 bitů do 256 bitů. [1]
- **Aktivní tagy** mají na rozdíl od pasivních tagů integrovanou baterii, která zajišťuje napájení obvodu a běžně vydrží 1-5 roků. Tento typ tagů používají metodu, kdy začíná vysílat nejdříve samotný tag. Aktivní tagy mohou pracovat v součinnosti s dalšími obvody, obsahujícími mikroprocesory, různé druhy snímačů nebo vstupně-výstupních zařízení. Informace získané např. snímači mohou být uloženy v paměti a při následné komunikaci tagu se čtečkou mohou být odeslány do čtečky. Tyto tagy jsou samozřejmě dražší a větší než pasivní, jejich dosah je větší až 100 m a velikost paměti pro data může dosahovat až 100 kb, díky čemuž může tag obsahovat mnoho přídavných informací, jsou méně odolné na teplotu a je nutné u nich vyměňovat baterii. Používají se v aplikacích, ve kterých je lze použít vícekrát po sobě, např. při sledování osob, zvířat, dopravních prostředků (mýtné brány) apod. [1]
- **Poloaktivní tagy** nejsou napájeny indukční vazbou mezi anténami, ale mají vlastní napájení stejně jako aktivní tagy. Toto napájení je určeno jen pro čip, ne pro vysílání, to je zajišťováno stejně jako u pasivních tagů změnou amplitudy nosné, přijímané ze čtečky. [7]

### 1.6.2 Dělení tagů podle přístupu

- **Read-Only systém** – tento systém umožňuje čtečce jen čtení individuálního sériového čísla EPC z paměti tagu, nelze do ní zapisovat. Takový systém může nahradit čárové kódy. Obsah paměti těchto tagů je většinou zapsán již při výrobě a jejich čipy obsahují antikolizní systém, který zajišťuje možnost současného čtení z více čipů. Paměť má velikost 64 nebo 96 bitů a je možné čtení až 1000 tagů za sekundu. [1]
- **Read-Write systém** - systém umožňující čtení i zápis do paměti tagu. Kromě EPC kódu může paměť obsahovat další přídatná data a to až do zaplnění paměti, v dnešní době se vyrábějí tagy s pamětí jednotek kilobitů. Tagy s tímto systémem mohou být programovány jen jednou nebo vícekrát. Přístup k zápisu do jejich paměti je chráněn heslem. [1]

### 1.6.3 Dělení podle tříd

- **Class 0** pouze pro čtení, programováno ve výrobě, paměť 64 nebo 96 b, čtení až 1000 tagů/s.
- **Class 0+** čtení/zápis, programováno kdykoliv, velikost paměti 256 b, čtení až 1000 tagů/s.
- **Class 1** zápis jednou/zápis mnohokrát, programováno při použití, velikost paměti 64 nebo 96 b, čtení až 200 tagů/s.
- **Gen 2** čtení/zápis, programováno kdykoliv, velikost paměti 256 b, čtení až 1600 tagů/s. [7]

### 1.6.4 Druhy tagů podle provedení

Zde jsou uvedeny nejčastěji vyráběná zapouzdření tagů.

- **Předlamináty** – cívka s čipem jsou zalaminovány mezi fólie, celková tloušťka předlaminátu je cca 0,45 – 0,55 mm. Dostupné jsou různé čipové technologie a rozměry, také je možné kombinovat více čipových technologií v jednom předlaminátu. Jsou vhodné pro následnou výrobu bezkontaktních karet.
- **Bezkontaktní karty** – předlaminát uložený do PVC karty. Možné personalizovat potiskem.
- **Klíčenky** – různé druhy, malé rozměry, vhodná alternativa k bezkontaktním kartám pro identifikaci osob.
- **Hodinky** – podobné jako klíčenky, většinou vodotěsné, používají se na koupalištích, v zábavních parcích, na koncertech apod.
- **„Coin tagy“** – tagy tvaru mince používané např. jako žetony do automatů, vyrobené z umělohmotných materiálů např. z PVC.
- **CD/DVD potisky** – samolepka s RFID čipem přizpůsobená k umístění na CD nebo DVD disky, vhodné pro použití v knihovnách nebo videopůjčovnách.
- **„Glass tagy“** – cívka s čipem jsou zapouzdřeny ve skleněné trubici, která má

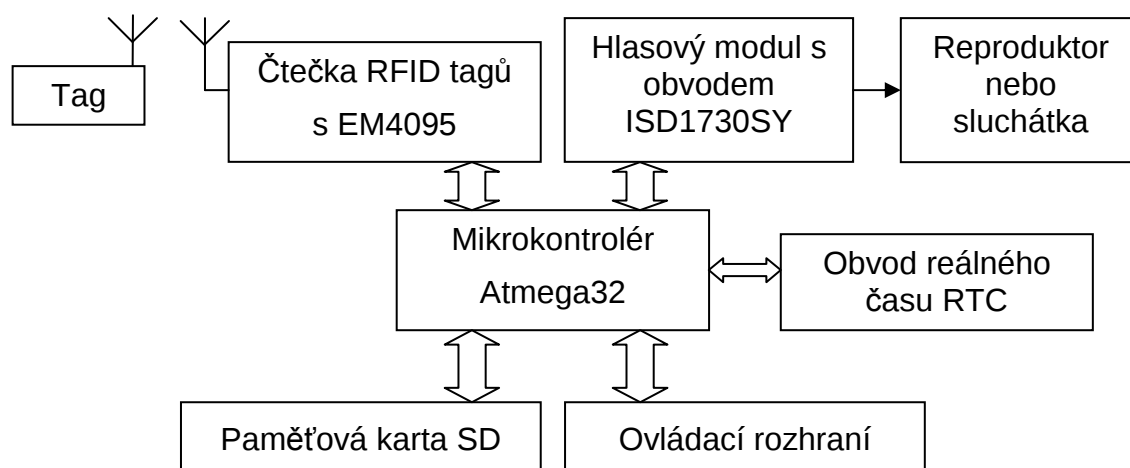
většinou velmi malé rozměry (např. 12 mm na výšku). Výhodou tohoto tagu je nejlepší poměr velikosti tagu vůči čtecí vzdálenost. Použití např. k identifikaci zvířat (implantace pod kůži), k identifikaci nástrojů, jako imobilizéry v autě.

- **„Animal tagy“** – většinou kulaté polotovary vhodné pro následnou výrobu identifikačních známek pro zvířata např. ušní známky.
- **„Metal tagy“** – zapouzdřené v umělohmotné vrstvě, která je umístěna na distanční podložce (např. feritové). Tyto tagy jsou vhodné pro použití v prostředí, kde se nachází kovové předměty např. při umístění tagu na kovovou konstrukci.
- **„Laundry tagy“** – zapouzdřené v různých materiálech podle následného použití. Vhodné pro aplikace ve kterých se počítá s jejich nešetrným zacházením. Použití např. v prádelnách a čistírnách prádla. Tagy jsou do jisté míry odolné vůči teplotě, tlaku a chemickým prostředkům.
- **PCB tagy** – anténa tagu umístěna na DPS i s čipem. Vhodné pro individuální návrhy zákaznických tagů. [8]

## 2 JEDNOTLIVÉ PRVKY ZAŘÍZENÍ

### 2.1 Blokové schéma

Na Obr. 2.1 je zakresleno blokové schéma výsledného obvodu. Mikrokontrolér komunikuje se čtečkou RFID tagů, která komunikuje s pasivním tagem a demoduluje tato přijatá data a následně je odesílá do mikrokontroléru. Ten z těchto dat zjistí jedinečné sériové číslo tagu a v paměti vyhledá data patřící k danému tagu. Načtená data z paměti postupně odesílá do hlasového modulu, který podle nich znak po znaku přehraje náležité zvukové sekvence. Ovládací rozhraní bude možné použít pro aktivaci celého obvodu, pro přehrání zvukové sekvence opakovaně apod.



Obr. 2.1 Blokové schéma navrženého obvodu

### 2.2 Výběr obvodu pro RFID čtečku

Požadavky na obvod čtečky RFID tagů i na samotné tagy jsou nízká cena, což je hlavní parametr celého zapojení, dále malá velikost, jednoduchost zapojení, možnost co nejjednodušší komunikace s mikrokontrolérem a připojení téměř jakékoliv antény, která bude navržena podle velikosti krabičky, do které bude výsledná konstrukce usazena.

Vzhledem k požadavkům jsem se v první řadě zaměřil na integrovaná řešení čteček. Na světovém trhu je mnoho výrobců, kteří tyto čtečky vyrábějí. Většina integrovaných čteček vyhovuje svojí velikostí, možností propojením s mikrokontroléry díky komunikačnímu portu s rozhodovacími úrovněmi TTL. Rozdílem mezi jednotlivými obvody je hlavně cena, která musí být co nejnižší a závisí taktéž na použité komunikační frekvenci.

Zde uvádím některé obvody, kterými jsem se při výběru zabýval. Čtecí modul AXA 020 nebo AXA 012 od firmy Elatec pracující na frekvenci 125 kHz je použitelný jen pro čtení informací z tagu, pro zápis není konstruován, což je nevýhodou. Naopak výhodou je integrovaná anténa umožňující dosah 16 cm, respektive 12 cm. Data jsou z obvodu dostupná již zpracovaná a to ve formátu ASCII nebo Wiegand. Nevýhodou tohoto obvodu je jen velmi vysoká cena a to nad 1000 Kč. Dále lze zakoupit čtečky od stejné firmy a to různé moduly jako např. AXA 050. Tento modul podporuje i funkci zápisu dat do tagu, ale z důvodu ještě vyšší ceny (cca 1400 Kč) není vhodný.

Jako nejvhodnější svojí dostupností na českém trhu i cenou jsem nakonec vybral obvod EM4095 pracující v rozmezí frekvencí 100-150 kHz, typicky 125 kHz, který lze zakoupit u firmy ASI Centrum s.r.o.. Jeho cena se pohybuje okolo 100 Kč. Specifikace obvodu je uvedena v následující kapitole.

### 2.2.1 EM4095

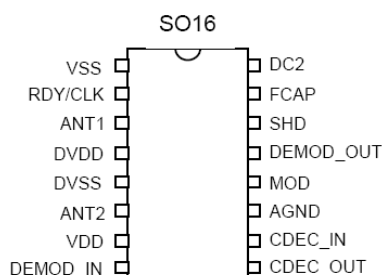
Tento obvod je integrovaný CMOS RFID vysílač i přijímač schopný komunikovat s tagy (transpondéry), které pracují na frekvenci 125 kHz. Může komunikovat jak s tagy určenými jen pro čtení (Read-Only) tak i s tagy určenými i k zápisu dat (Read/Write).

Výhodami tohoto obvodu jsou: Malá cena externích součástek nutných k provozu obvodu, obvod zajišťuje chod v rezonanci, velký rozsah hloubky AM modulace se zaručením funkčnosti, jednoduchá analýza a návrh výsledného obvodu čtečky díky jen dvěma proměnným, které lze měnit a nízká energetická náročnost.

Typickými vlastnostmi obvodu jsou: integrovaný PLL systém k automatickému přizpůsobení vysílané nosné k rezonanční frekvenci tagu, obvod nevyžaduje externí hodinový signál, rozsah nosných frekvencí od 100 kHz do 150 kHz, přímé buzení antény, přenos dat modulací OOK (On-Off Keying) neboli 100 % amplitudovou modulací, kompatibilita s mnoha komunikačními protokoly tagů (např.: EM4102, EM4200, EM4450 a EM4205/EM4305), odběr proudu obvodu v režimu spánku je jen 1  $\mu$ A, rozsah teplot okolí při kterých obvod pracuje je  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+85^{\circ}\text{C}$ . [2]

### 2.2.2 Popis obvodu EM4095

Na následujícím obrázku Obr. 2.2 je uvedeno pouzdro obvodu EM4095, význam jednotlivých pinů je popsán v tabulce Tab. 3.

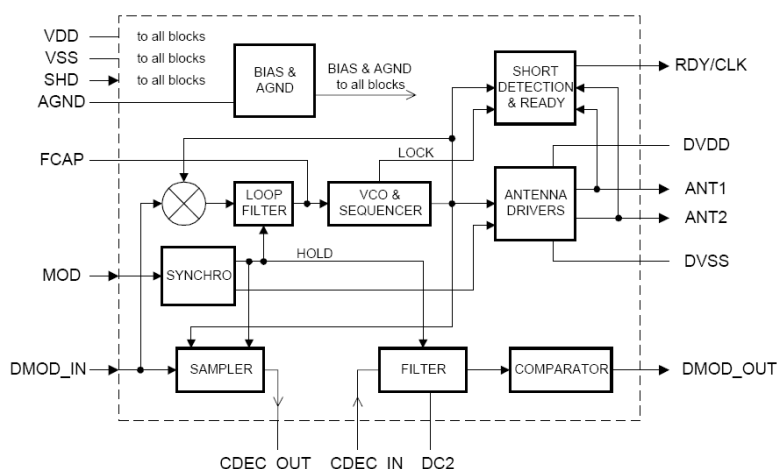


Obr. 2.2 Pouzdro obvodu EM4095 (převzato z [2])

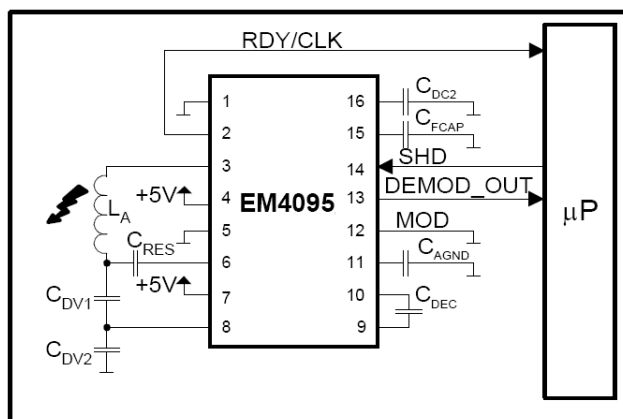
Tab. 3 Popis funkce jednotlivých pinů obvodu EM4095 [2]

| PIN | Jméno            | Popis                                                                  | Typ                                     |
|-----|------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1   | V <sub>SS</sub>  | Zem                                                                    | Zem                                     |
| 2   | RDY/CLK          | Znak připravenosti a výstup hodinového signálu                         | Výstup                                  |
| 3   | ANT1             | Řízení antény                                                          | Výstup                                  |
| 4   | D <sub>VDD</sub> | Napájecí napětí pro řízení antény (kladné)                             | Napájení                                |
| 5   | D <sub>VSS</sub> | Napájecí napětí pro řízení antény (záporné – zem)                      | Zem                                     |
| 6   | ANT2             | Řízení antény                                                          | Výstup                                  |
| 7   | V <sub>DD</sub>  | Napájecí napětí obvodu                                                 | Napájení                                |
| 8   | DEMOD_IN         | Demodulovaný signál z antény                                           | Analogový signál                        |
| 9   | CDEC_OUT         | Připojení blokovacího kondenzátoru (výstup)                            | Analogový signál                        |
| 10  | CDEC_IN          | Připojení blokovacího kondenzátoru (vstup)                             | Analogový signál                        |
| 11  | A <sub>GND</sub> | Analogová zem                                                          | Analogový signál                        |
| 12  | MOD              | Vysokoúrovňový signál budící anténu                                    | Vstup s vnitřním „pull down“ rezistorem |
| 13  | DEMOD_OUT        | Digitální signál reprezentující AM modulaci zachycenou anténou         | Výstup                                  |
| 14  | SHD              | Vysokoúrovňový vstup, kterým lze donutit obvod přejít do režimu spánku | Vstup s vnitřním „pull up“ rezistorem   |
| 15  | FCAP             | Připojení filtrovacího kondenzátoru smyčky PLL                         | Analogový signál                        |
| 16  | DC2              | Připojení oddělovacího kondenzátoru                                    | Analogový signál                        |

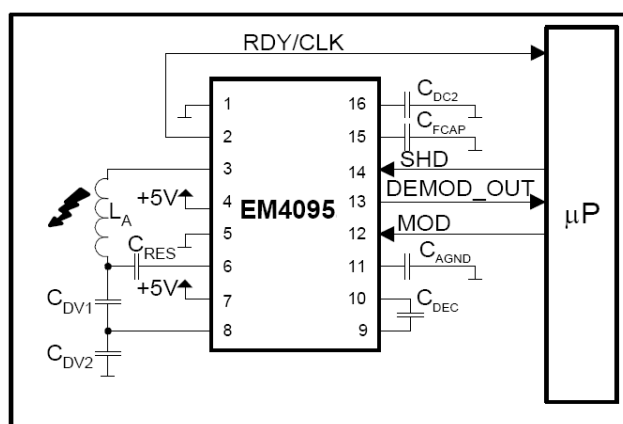
Na následujících schématech je vidět blokové vnitřní zapojení obvodu (Obr. 2.3), dále typické zapojení obvodu pro režim čtení (Obr. 2.4) a režim čtení a zápisu (Obr. 2.5).



Obr. 2.3 Blokové schéma vnitřního zapojení obvodu EM4095 (převzato z [2])



Obr. 2.4 Typické zapojení obvodu EM4095 v režimu čtení (Read-Only) (převzato z [2])



Obr. 2.5 Typické zapojení obvodu EM4095 v režimu čtení a zápisu (Read/Write) (převzato z [2])

Obvod EM4095 byl navržen pro provoz s připojenou anténou a mikrokontrolérem. K obvodu se připojuje jen několik externích součástek např. pro filtrování stejnosměrných a střídavých nežádoucích signálů. Nutný je stabilizovaný napájecí zdroj.

Chod obvodu je řízen logickými signály na vstupech SHD a MOD. Pokud je na SHD vysoká úroveň, je obvod v režimu spánku a proudový odběr je minimální (okolo 1  $\mu\text{A}$ ). Při přivedení napájecího napětí na obvod je potřeba, aby byl vstup SHD připojen na vysokou úroveň pro korektní inicializaci obvodu. Při přivedení nízké logické úrovně na vstup SHD obvod začne vyzařovat RF pole a začne demodulovat amplitudově modulovaný signál přijímaný anténou. Tento demodulovaný digitální signál je přiváděn z bloku AM demodulace na pin DEMOD\_OUT, který by měl být připojený k mikrokontroléru, který tento signál může dekódovat a dále zpracovat. [2]

Vysoká úroveň na pinu MOD vynutí přejít hlavní anténní obvody do třetího stavu (režimu vysoké impedance) synchronně s nosnou. Pokud je MOD ve vysoké úrovni, VCO a AM demodulační řetězec zůstává na logické úrovni, která na nich byla před překlopením pinu MOD do stavu vysoké úrovně. Toto řešení zajistí rychlejší zotavení poté co je na pinu MOD změněna úroveň. Spínání obvodu VCO a amplitudová demodulace je zpožděna o 41 RF cyklů oproti sestupné hraně na pinu MOD. [2]

### 2.2.3 Komunikace se čtecím tagem (Read-Only)

K obvodu EM4095 je připojen mikrokontrolér třemi vodiči připojeným k pinům SHD, RDY/CLK a DEMOD\_OUT. Jak již bylo zmíněno připojením vysoké úrovně na pin SHD přejde obvod do režimu spánku.

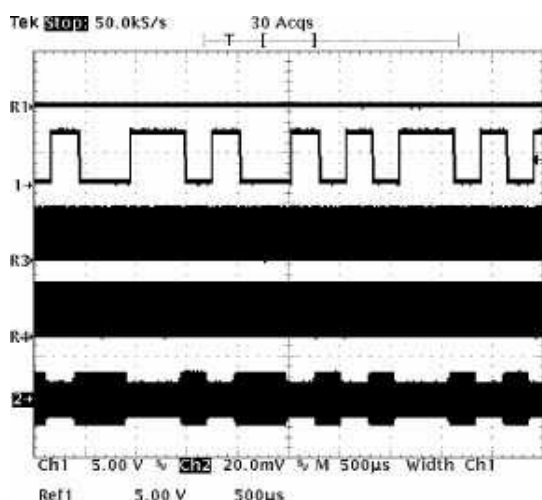
|         |                      |
|---------|----------------------|
| SHD = 1 | režim spánku         |
| SHD = 0 | pracovní stav obvodu |

Při připojení napájecího napětí na pin MOD je aktivována 100% AM modulace na výstupu obvodu. U komunikace jen jedním směrem a to z tagu do čtečky je pin MOD typicky připojen na zem.

|         |                    |
|---------|--------------------|
| MOD = 1 | 100% modulace      |
| MOD = 0 | signál nemodulován |

Signálem na pinu RDY/CLK lze zajistit dvě funkce a to sledování jestli je obvod EM4095 připraven ke komunikaci (při nastavení signálu MOD na vysokou úroveň) nebo pro časování synchronních dat odesílaných obvodem na pin DEMOD\_OUT. [2]

Na následujícím obrázku (Obr. 2.6) jsou znázorněny signály na jednotlivých částech systému. Horní signál představuje demodulovaný signál dostupný na pinu DEMOD\_OUT a nejnižší signál představuje signál dostupný na anténě vysílajícího tagu [2].



Obr. 2.6 Signály na jednotlivých částech systému při vysílání signálu z Read-Only tagu do čtečky (převzato z [2])

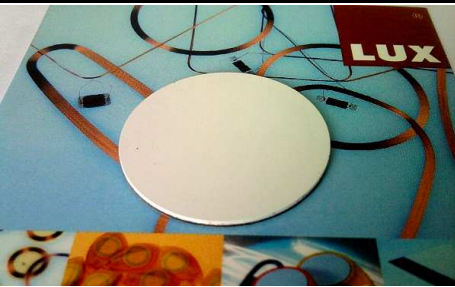
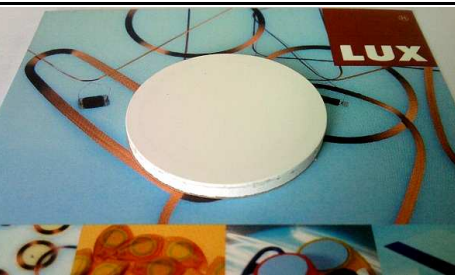
## 2.3 Výběr vhodného tagu

Vzhledem k použití obvodu EM4095 pro obvod čtečky se jako vhodný typ tagu jeví tag s čipem od stejné firmy s pracovní frekvencí 125 kHz. Jako dostačující řešení se předpokládá použití tagů určených jen pro čtení (Read-Only). Jednotlivé tagy se svým fyzickým zpracováním velmi liší. Lze zakoupit tagy zalaminované mezi tenké fólie. Fólie mohou být vyrobeny z různých materiálů jako jsou PET, PETG a PVC a chrání tag proti prachu, špíně, vodě a dalším vnějším vlivům. Tagy mohou být také opatřeny

samolepkou ke snadnějšímu uchycení atd.

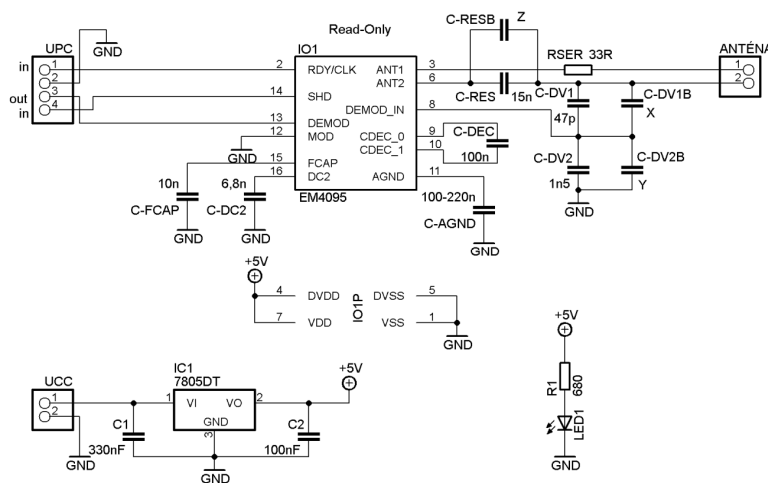
Z rozsáhlé nabídky tagů byly vybrány následující tagy uvedené v tabulce Tab. 4, které prošly testem pro použití na kovových konstrukcích, popsáném níže.

Tab. 4 Vybrané tagy pro otestování

| Výrobce            | Použitý čip                               | Poudro                                                                                             | Foto                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EM Microelectronic | <b>EM4205</b> ,<br>Read/Write,<br>512 bit | Bezkontaktní<br>karta                                                                              |  A white rectangular contactless card with the EM Microelectronic logo and the text 'EM4205' and 'A COMPANY OF THE SWATCH GROUP'. |
| Lux-Ident          | <b>EM4102</b> ,<br>Read-Only 64<br>bit,   | Metal tag<br>(MO2114/5K),<br>$d = 30$ mm,<br>výška 1 mm,<br>samolepící<br>s feritovou<br>podložkou |  A small, circular, white metal tag with a blue ferrous substrate, placed on a blue background with orange and red patterns.     |
| Lux-Ident          | <b>EM4102</b> ,<br>Read-Only 64<br>bit    | Metal tag<br>(MO2114/5P),<br>$d = 30$ mm,<br>výška 3 mm,<br>samolepící<br>s PVC<br>podložkou       |  A small, circular, white metal tag with a blue ferrous substrate, placed on a blue background with orange and red patterns.    |
| Lux-Ident          | <b>EM4102</b> ,<br>Read-Only 64<br>bit    | Metal tag<br>(EO2118/5K),<br>$d = 50$ mm,<br>výška 1 mm,<br>samolepící<br>s feritovou<br>podložkou |  A larger, circular, white metal tag with a blue ferrous substrate, placed on a blue background with orange and red patterns.   |
| Lux-Ident          | <b>EM4102</b> ,<br>Read-Only 64<br>bit    | Metal tag<br>(EO2118/5P),<br>$d = 50$ mm,<br>výška 3 mm,<br>samolepící<br>s PVC<br>podložkou       |  A larger, circular, white metal tag with a blue ferrous substrate, placed on a blue background with orange and red patterns.   |

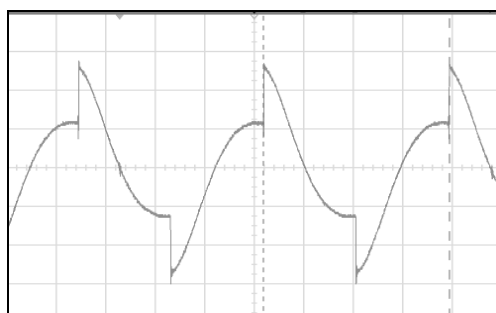
Každý z těchto tagů byl podroben testu čtecí vzdálenosti při různých podmínkách, hlavně však při připevnění na typickou informační kovovou konstrukci zastávky MHD. Jako nejvhodnější způsob umístění tagů na tuto konstrukci bylo shledáno nalepení tagu pod zalamovaný jízdní řád, kde bude chráněn proti působení povětrnostních vlivů a také před vandaly.

Test probíhal se čtečkou jejíž schéma je na Obr. 2.7 a navrženou anténou, která je uvedena v příloze A.4. Hodnota kondenzátoru  $C_{RES}$  byla změněna na 15 nF tak, aby bylo dosaženo nalazení rezonančního obvodu na frekvenci blízkou 125 kHz. Konkrétní hodnoty frekvencí na anténě jsou 117,3 kHz bez modulace tagem a s modulací tagem je frekvence na anténě rovna 129,5 kHz.



Obr. 2.7 Schéma zapojení RFID čtečky [2]

Doladění rezonančního obvodu do rezonance bylo dosaženo pozorováním průběhu signálu na anténě. Pro správné naladění musí být skok, který lze vidět na Obr. 2.8, umístěn v maximu respektive minimu amplitudy průběhu, čehož bylo dosaženo [15].

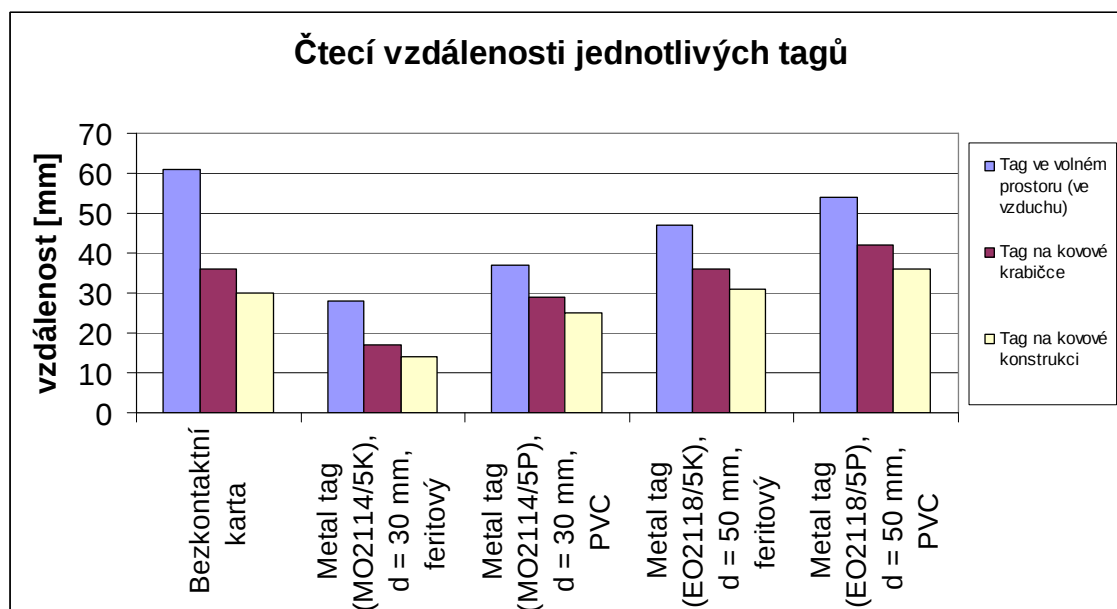


Obr. 2.8 Průběh signálu na anténě RFID čtečky

V tabulce Tab. 5 jsou uvedeny naměřené vzdálenosti, na Obr. 2.9 je pro názornost uveden graf těchto vzdáleností. Je z nich patrné, že pro použití na kovovou konstrukci zastávky je nejvhodnější použitelný metal tag (EO2118/5P), u kterého byla naměřena čtecí vzdálenost 36 mm. Pokud by nevyhovovala jeho tloušťka 3 mm, tak je možné použít metal tag (EO2118/5K), se změřenou čtecí vzdáleností 31 mm, jehož tloušťka je jen 1 mm.

Tab. 5 Naměřené čtecí vzdálenosti jednotlivých tagů

| Pouzdro                                                                             | Maximální čtecí vzdálenost [mm]     |                       |                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------|
|                                                                                     | Tag ve volném prostoru (ve vzduchu) | Tag na kovové krabici | Tag na kovové konstrukci |
| Bezkontaktní karta                                                                  | 61                                  | 36                    | 30                       |
| Metal tag (MO2114/5K),<br>$d = 30$ mm, výška 1 mm, samolepící s feritovou podložkou | 28                                  | 17                    | 14                       |
| Metal tag (MO2114/5P),<br>$d = 30$ mm, výška 3 mm, samolepící s PVC podložkou       | 37                                  | 29                    | 25                       |
| Metal tag (EO2118/5K),<br>$d = 50$ mm, výška 1 mm, samolepící s feritovou podložkou | 47                                  | 36                    | 31                       |
| Metal tag (EO2118/5P),<br>$d = 50$ mm, výška 3 mm, samolepící s PVC podložkou       | 54                                  | 42                    | 36                       |

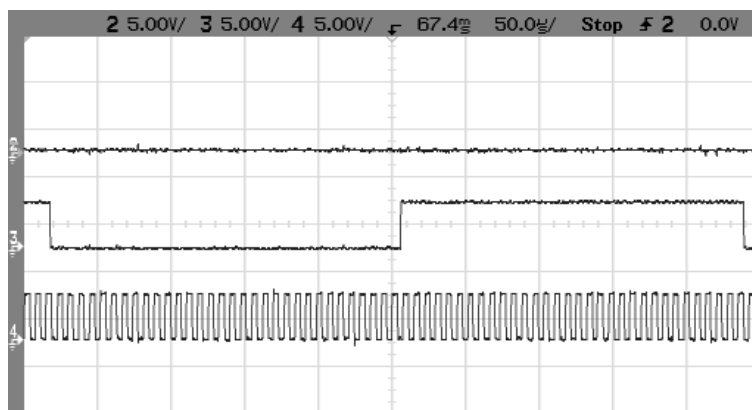


Obr. 2.9 Graf čtecí vzdálenosti tagů

### 2.3.1 Obvod tagu EM4102

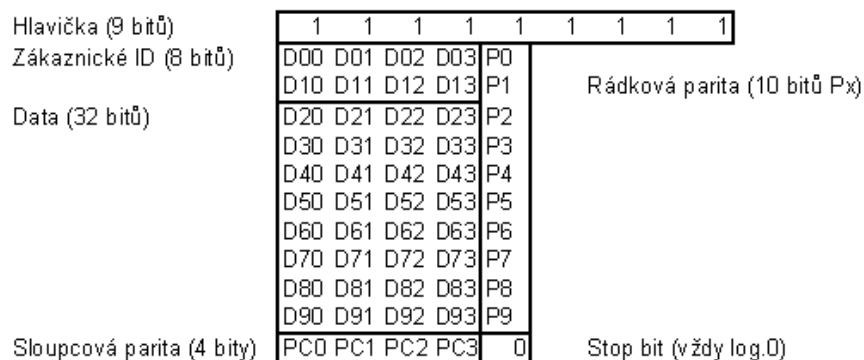
Jako nejvhodnější pro použití na kovových konstrukcích byl testem zvolen metal tag (EO2118/5P) o průměru  $d = 50$  mm a výšce 3 mm. Tento tag obsahuje CMOS integrovaný obvod EM4102, který je určen jen pro čtení (Read-Only) a velikost jeho paměti je 64 bitů. Obvod je napájen externí cívkou umístěnou v elektromagnetickém poli. Obvod odesílá zpět ke čtečce obsah své 64 bitové datové paměti, která je laserově naprogramována již z výroby.

Obvod EM4102 může mít nastavena různá kódování dat a datové rychlosti. Data jsou kódována buď kódováním Manchester, BiPhase nebo PSK a datové rychlosti mohou být 64, 32 nebo 16 period signálu nosného kmitočtu za dobu jednoho datového bitu. Použitý tag používá kódování Manchester a datovou rychlost 64 period signálu nosného kmitočtu za dobu jednoho datového bitu. Na Obr. 2.10 je zobrazen průběh hodinového signálu (kanál č.4) a jeden datový bit (kanál č.3). Při přivedení napájení na obvod tagu automaticky začne vysílat posloupnost dat z vnitřní paměti. Po odvysílání celé paměti pokračuje znovu od začátku až do odpojení napájení. [11]



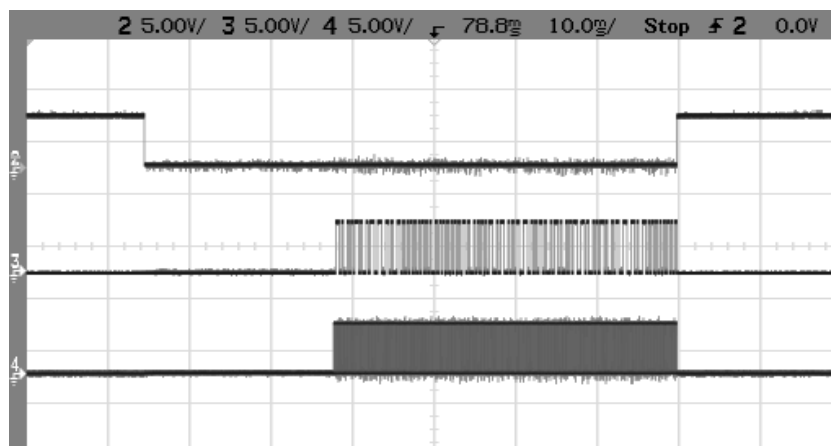
Obr. 2.10 Průběh hodinového signálu a datového bitu na výstupu RFID čtečky při použití tagu EM4102

Datová paměť zobrazená na Obr. 2.11 je rozdělena na 5 částí. 9 bitů je použito jako hlavička, 10 bitů řádkové parity, 4 bity sloupcové parity, 40 datových bitů a jeden stop bit. Hlavička vždy obsahuje 9 bitů naprogramovaných na log.1. Tato sekvence bitů se nikde jinde v paměti nesmí opakovat. Po hlavičce paměť obsahuje 10 skupin 4 datových bitů a jednoho bitu řádkové sudé parity. Na konci paměti jsou 4 bity sloupcové parity a jeden stop bit, který je vždy naprogramován na log.0. [11]



Obr. 2.11 Zobrazení organizace paměti tagu [9]

Měřením bylo zjištěno, že přečtení celé této paměti tagu EM4102 čtečkou RFID s obvodem EM4095 trvá 65,4 ms a to pokud je tag přítomen v dostatečně malé vzdálenosti pro jeho přečtení již před aktivací obvodu čtečky RFID. Příklad takové probíhající komunikace je zobrazen na Obr. 2.12. Kanál 2 představuje signál na pinu SHD (vzbuzení obvodu čtečky RFID), kanál 3 signál na pinu DEMOD (výstupní data ze čtečky RFID) a kanál 4 signál na pinu RDY/CLK (hodinový signál).

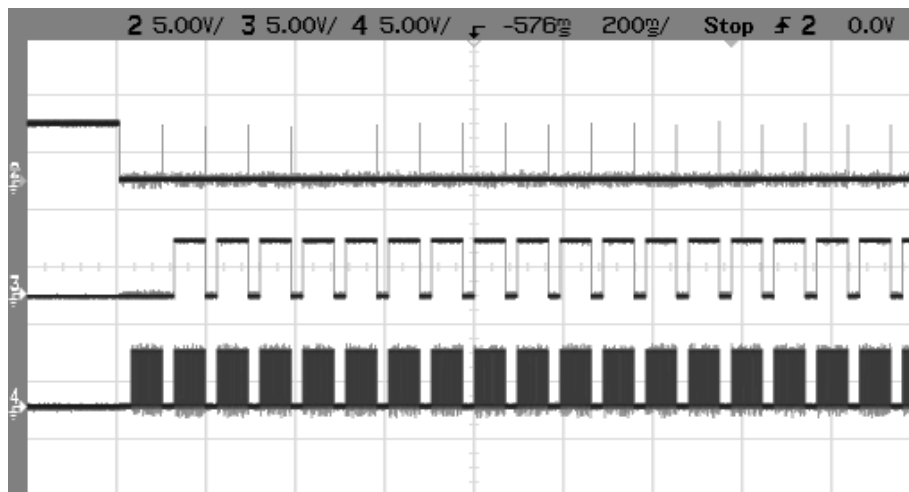


Obr. 2.12 Signály na výstupních pinech RFID čtečky při čtení paměti tagu

## 2.4 Program pro čtení dat z tagu

Na výstupu čtečky RFID tagů (pin DEMOD) je k dispozici sériový datový tok, který vysílá tag viz. kapitola 2.2.2. Dále je k dispozici hodinový signál na pinu RDY/CLK, jehož 64 period proběhne za dobu jednoho datového bitu (2 čipových bitů). Obvod čtečky je připojen k řídicímu obvodu přes rozhraní SPI. Na Obr. 2.15 je vývojový diagram programu pro čtení datové paměti RFID tagu, jehož zdrojový kód v jazyce C je umístěn na přiloženém CD. Kód je rozdělen na dvě hlavní funkce, první je „Dekodování“, ve které je vždy jeden chip ukládán po 32 periodách hodinového signálu do proměnné. Po detekci začátku paměti tagu a synchronizaci pro dekodování dat je

zbylých 55 bitů paměti dekódováno a ukládáno. Na Obr. 2.13 je vidět signály na pinech čtečky RFID při čekání na komunikaci s tagem. Opět kanál 2 představuje signál na pinu SHD (vzbuzení obvodu čtečky RFID), kanál 3 signál na pinu DEMOD (výstupní data ze čtečky RFID) a kanál 4 signál na pinu RDY/CLK (hodinový signál).

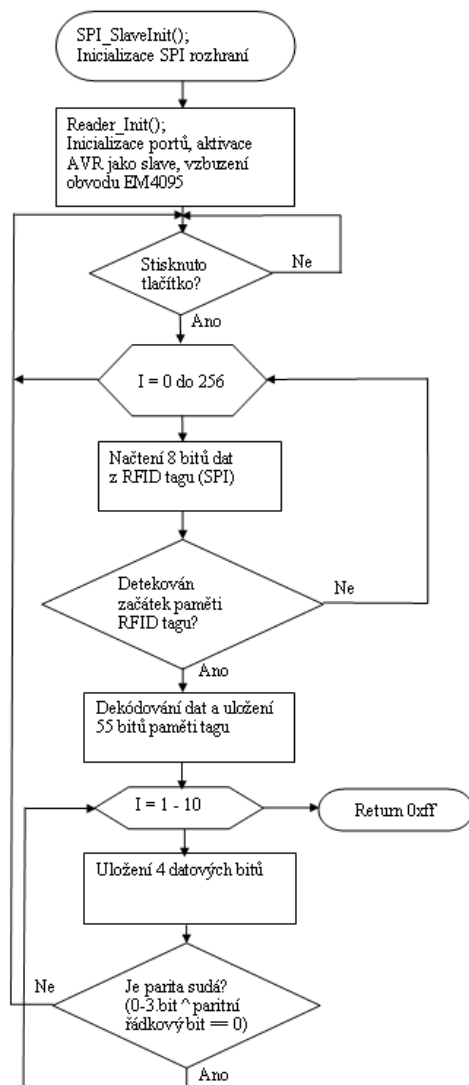


Obr. 2.13 Signály na výstupních pinech RFID čtečky při čekání na komunikaci s tagem

Druhou funkcí je „Kontrola\_a\_ulozeni“, ve které je prováděna kontrola sudé řádkové parity, ověření stop bitu a uložení datových bitů. Dle provedených pokusů je příjem tak kvalitní, že není potřeba provádět ověření sloupcové parity. Funkce vrací hodnotu 0xff při úspěšně provedené kontrole. Datové bity jsou uloženy v poli rfid\_data od bitu s nejmenší vahou (LSB) viz. Obr. 2.14.

| bity    | 7   | 6   | 5   | 4   | 3   | 2   | 1   | 0   |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| data[0] | D13 | D12 | D11 | D10 | D03 | D02 | D01 | D00 |
| data[1] | D33 | D32 | D31 | D30 | D23 | D22 | D21 | D20 |
| data[2] | D53 | D52 | D51 | D50 | D43 | D42 | D41 | D40 |
| data[3] | D73 | D72 | D71 | D70 | D63 | D62 | D61 | D60 |
| data[4] | D93 | D92 | D91 | D90 | D83 | D82 | D81 | D80 |

Obr. 2.14 Organizace přijatých datových bitů v poli rfid\_data[]



Obr. 2.15 Vývojový diagram programu pro čtení datové paměti RFID tagu

## 2.5 Výběr obvodu hlasového modulu

Byl vybrán integrovaný obvod ISD1730SY od firmy Winbond. Tento obvod umožňuje záznam a přehrávání až 60 s zvuku. Maximální délka záznamu lze měnit od 20 s po 60 s v závislosti na vzorkovací frekvenci od 12 kHz po 4 kHz, kterou lze jednoduše nastavit velikostí externího rezistoru. Toto řešení dává vývojáři velkou možnost konfigurace dle požadavků dané aplikace. Obvod lze napájet napětím v rozmezí od 2,4 V do 5,5 V. Obvod byl vybrán s pouzdrem SOIC pro povrchovou montáž.

Obvody řady ISD1700 mohou pracovat samostatně nebo mohou být ovládány mikrokontrolérem přes rozhraní SPI. Obvody obsahují vlastní správu adres vnitřní paměti pro ukládání a čtení zpráv, což zajišťuje flexibilní použití těchto obvodů. Dále obsahují interní oscilátor, jehož frekvenci lze nastavit velikostí externího rezistoru, mikrofonní předzesilovač s automatickým řízením zesílení, přídavný analogový vstup, antialiasingový filtr, multiúrovňové pole pro ukládání dat, vyhlazovací filtr, ovládání

hlasitosti a zesilovač třídy D s PWM modulací pro reproduktor. [9]

Záznamy zvuku jsou ukládány do vnitřní paměti flash bez digitální komprese, čímž je zajištěna vysoká kvalita přehrávaného zvuku. Hlasové signály mohou být do obvodu dodány dvěma na sobě nezávislými cestami a to rozdílovým mikrofoniím vstupem nebo analogovým vstupem. Obvod zároveň poskytuje dva výstupy a to PWM modulovaný signál ze zesilovače třídy D a analogový výstup. Výstupem s PWM modulací je možné budít 8  $\Omega$  reproduktor nebo piezoměnič, oddělený analogový výstup může být nakonfigurován jako proudový nebo napěťový pro buzení externího zesilovače. [9]

Dále je popisován jen SPI mód, který bude využit v konstrukci zařízení, mód při kterém obvod pracuje samostatně bez řízení mikrokontrolérem přes SPI je možné nalézt v [9]. V módu SPI je obvod plně řízen mikrokontrolérem přes rozhraní SPI. Je možné přistupovat k jednotlivým paměťovým místům specifikováním první a poslední adresy daného místa, přistupovat do registru „Analog Path Configuration“, ve kterém lze nastavovat cestu audio signálu, vstupy, výstupy a mixování signálů. [9]

### 2.5.1 Funkce obvodu ISD1730

- Vzorkovací frekvence nastavitelná externím rezistorem a na ní závislé maximální délka záznamu a minimální délka jednoho zvukového úseku jsou uvedeny v tabulce Tab. 6.

Tab. 6 Uvedení parametrů obvodu při různých vzorkovacích frekvencích [9]

| Vzorkovací frekvence [kHz]                   | 12,0 | 8,0   | 6,4   | 5,3   | 4,0   |
|----------------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| $R_{OSC}$ [k $\Omega$ ]                      | 53,0 | 80,0  | 100,0 | 120,0 | 160,0 |
| Délka záznamu [s]                            | 20,0 | 30,0  | 37,0  | 45,0  | 60,0  |
| Minimální délka jednoho zvukového úseku [ms] | 83,3 | 125,0 | 156,0 | 187,0 | 250,0 |

- Mohou být nahrány 4 zprávy používané pro zvukovou indikaci stavů (tzv.SE). LED dioda indikuje nahrávání zvuku, přehrávání, operace přetáčení a mazání.
- Zprávy typu SE zabírají prvních 16 řádků v datovém poli a to od adresy 0x000 po adresu 0x00F. Zbylé paměťové místo je určeno pro zvuková data, ty mohou být ukládána od adresy 0x010 po adresu 0x0FF.

V tabulce Tab. 7 jsou uvedeny registry APC adresovatelné přes SPI. Ostatní detailnější informace o obvodu ISD1730SY jsou uvedeny v [9].

Tab. 7 Registry APC („Analog Path Configuration“) [9]

| Bit | Jméno         | Popis                                                                         | Defaultní hodnota            |
|-----|---------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| D0  | VOL0          | Bity pro nastavení hlasitosti. 8 kroků po -4 dB. 000 = maximum, 111 = minimum | 000 (maximum)                |
| D1  | VOL1          |                                                                               |                              |
| D2  | VOL2          |                                                                               |                              |
| D3  | Monitor_Input | Přenáší vstupní signál na výstup během nahrávání<br>D3 = 0 Zakázání           | 0 = Monitor_input je odpojen |

|            |                        |                                                                                                                                                                                                                        |                            |
|------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
|            |                        | D3 = 1 Povolení                                                                                                                                                                                                        |                            |
| <b>D4</b>  | Mix_Input              | Určení vstupu pro nahrávání<br><b>D4 = 0</b> -> D6 = 0 Analn REC, D6 = 1 Mic REC.<br><b>D4 = 1</b> -> D6 = 0 (Mic + Analn) REC, D6 = 1 Mic REC                                                                         | 0 = Mix_Input je vypnut    |
| <b>D5</b>  | SE_Editing             | Povolení/zakázání editování SE registrů, 0 = povoleno, 1 = zakázáno                                                                                                                                                    | 0 = SE_Editing je povoleno |
| <b>D6</b>  | SPI_FT                 | Poprvé když je odeslán příkaz SPI_PU, FT je vyřazeno a nahrazeno tímto bitem D6 s nezměněnou funkcí. Po opuštění módu SPI PD příkazem je zpět funkce předána FT.<br>D6 = 0 SPI_FT je zapnuta, D6 = 1 SPI_FT je vypnuta | 1 = SPI_FT je vypnuto      |
| <b>D7</b>  | Analog Output: AUD/AUX | 0 = AUD, 1 = AUX                                                                                                                                                                                                       | 0 = AUD                    |
| <b>D8</b>  | PWM SPK                | PWM výstup<br>0 = povolen, 1 = zakázán                                                                                                                                                                                 | 0 = PWM povoleno           |
| <b>D9</b>  | PU Analog Output       | Analogový výstup PowerUp<br>0 = zapnut, 1 = vypnut                                                                                                                                                                     | 0 = zapnuto                |
| <b>D10</b> | vAlert                 | Signalizace nové nahrávky<br>0 = zapnuta, 1 = vypnuta                                                                                                                                                                  | 1 = vypnuto                |
| <b>D11</b> | EOM Enable             | Povolení pro operaci SetPlay<br>0 = vypnuto, 1 = zapnuto,                                                                                                                                                              | 0 = vypnuto                |

## 2.6 Program pro přehrávání znaků

Slova, která je potřeba přehrávat, jsou uložena v paměti jako řetězce ASCII znaků. Vždy je zjištěna délka daného řetězce a dále je znak po znaku přes rozhraní SPI adresována paměť obvodu ISD1730 a jsou přehrávány hlásky odpovídající jednotlivým znakům.

Tab. 8 Tabulka používaných ASCII znaků

| Hex | Char | Hex | Char | Hex | Char | Hex | Char | Hex | Char | Hex | Char | Hex | Char |
|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| 30  | 0    | 37  | 7    | 3E  | >    | 45  | E    | 4C  | L    | 53  | S    | 5A  | Z    |
| 31  | 1    | 38  | 8    | 3F  | ?    | 46  | F    | 4D  | M    | 54  | T    | 5B  | [    |
| 32  | 2    | 39  | 9    | 40  | @    | 47  | G    | 4E  | N    | 55  | U    | 5C  | \    |
| 33  | 3    | 3A  | :    | 41  | A    | 48  | H    | 4F  | O    | 56  | V    | 5D  | ]    |
| 34  | 4    | 3B  | ;    | 42  | B    | 49  | I    | 50  | P    | 57  | W    | 5E  | ^    |
| 35  | 5    | 3C  | <    | 43  | C    | 4A  | J    | 51  | Q    | 58  | X    | 5F  | _    |
| 36  | 6    | 3D  | =    | 44  | D    | 4B  | K    | 52  | R    | 59  | Y    | 60  | '    |

Od ASCII znaku v hexadecimálním vyjádření (viz. Tab. 8) odečteme 0x30, tím dostaneme index proměnné v poli, která představuje počáteční adresu hlásky uložené v obvodu ISD1730. Adresní rozsah paměti je od 0x10 do 0xFF. Konečná adresa hlásky je vždy o 0x02 větší než počáteční, z čehož při vzorkovací frekvenci 4 kHz vyplývá, že jedna hláska trvá 0,5 s, což je ideální doba pro správné nahrání a srozumitelné přehrávání hlásek. Při využití ASCII znaků od 0 po Z jak je naznačeno v tabulce je zaplněno 22 s paměti obvodu, zbývá 38 s pro speciální či často opakovaná slova, což je dostačující.

### 2.6.1 Knihovna funkcí pro přehrávání znaků

Byla vytvořena knihovna pro komunikaci řídicího obvodu s obvodem ISD1730 přes rozhraní SPI. Jednotlivé funkce knihovny korespondují s nejdůležitějšími funkcemi, které je obvod schopný vykonávat.

Funkce knihovny:

**PU** (Power Up) – vzbuzení obvodu do stavu nečinnosti;

**RESET** – zastaví právě probíhající operaci, uspí obvod a smaže všechny bity přerušení a EOM bity;

**CLR\_INT** (Clear Interrupt) – stejná funkce jako RESET bez uspání obvodu;

**RD\_STATUS** (Read Status) – čte stav obvodu;

**PD** (Power Down) – uspání obvodu;

**DEVID** – čte identifikační číslo obvodu;

**PLAY** – spustí operaci přehrávání od aktuálního místa v paměti až po značku konce bloku EOM nebo zavolání funkce STOP;

**REC** – spustí nahrávání zvuku od adresy ukazatele REC\_PTR až po zavolání funkce STOP nebo zaplnění paměti;

**ERASE** – smaže aktuální zprávu;

**G\_ERASE** – smaže všechny zprávy;

**WR\_APC2** – zapíše data do APC registru s nastavením hlasitosti;

**WR\_NVCFG** – zapíše aktuální obsah registru APC do registru NVCFG, který se po RESETu nebo PU zpět zapíše do APC registru;

**LD\_NVCFG** – do APC registru zapíše obsah registru NVCFG;

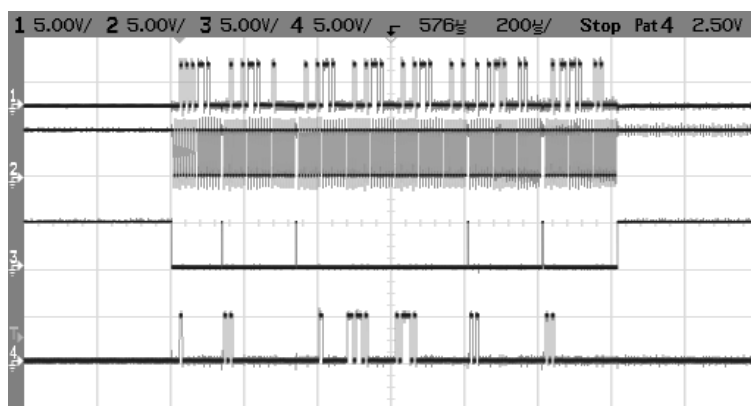
**SET\_PLAY** – přehraje zvuk z paměti obvodu od zvolené počáteční adresy po zvolenou konečnou adresu;

**SET\_REC** - nahraje zvuk do paměti obvodu od zvolené počáteční adresy po zvolenou konečnou adresu;

**SET\_ERASE** – smaže paměť obvodu od zvolené počáteční adresy po zvolenou konečnou adresu. [9]

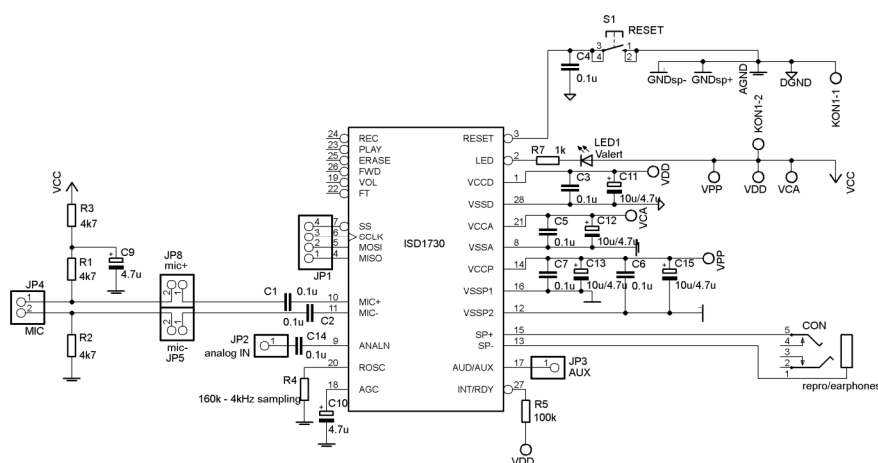
Na vývojovém diagramu Obr. 2.18 je popsán program pro použití funkcí knihovny pro vymazání paměti, následné nahrání a přehrávání hlásek. Zdrojový kód knihovny a

programu je umístěn na přiloženém CD. Na Obr. 2.16 jsou zobrazeny signály rozhraní SPI na pinech hlasového obvodu (kanál 1 - data odesílaná z hlasového modulu, kanál 2 - hodinový signál, kanál 3 - signál aktivace obvodu pro komunikaci, kanál 4 - data z odesílaná z mikrokontroléru) při odeslání příkazu z mikrokontroléru pro přehrání jednoho znaku ze zvukové paměti. Tento příkaz trvá 1,2 ms, po přehrání znaku hlasový modul odešle potvrzení zpět mikrokontroléru.

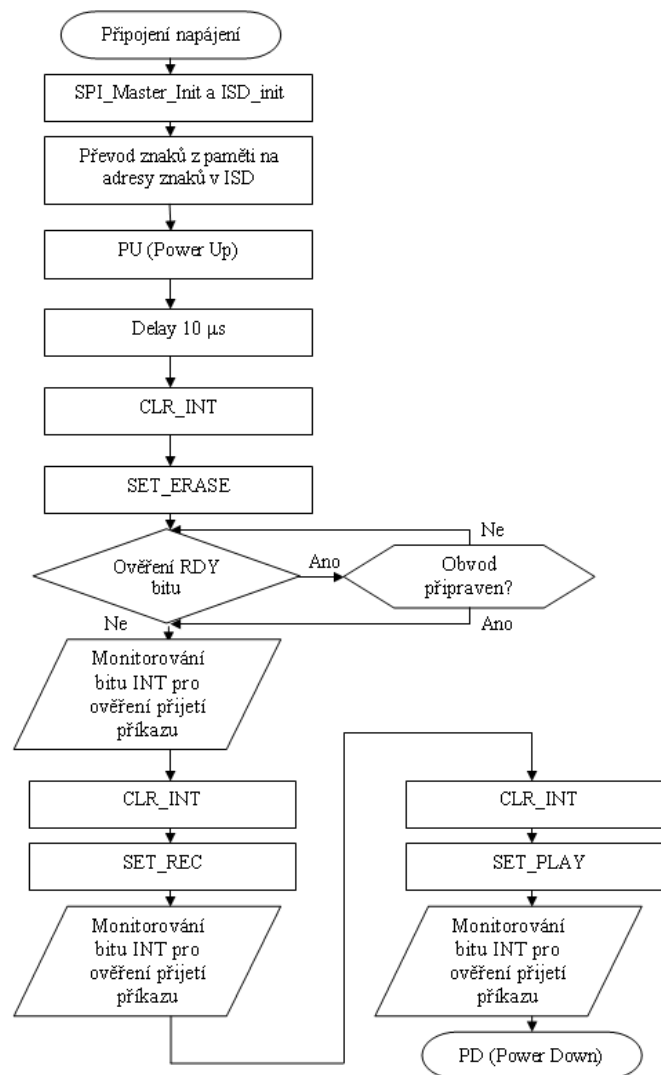


Obr. 2.16 Signály na pinech hlasového obvodu při komunikaci

Na Obr. 2.17 je schéma hlasového modulu a v příloze A.7 a A.8 je předloha pro výroby DPS a osazovací schéma.



Obr. 2.17 Schéma hlasového modulu [9]



Obr. 2.18 Vývojový diagram programu pro adresované vymazání, nahrání a přehrání záznamu [9]

## 2.7 Řídící obvod

Na Obr. 2.20 je uvedeno schéma zapojení řídicího obvodu s mikrokontrolérem AVR ATmega32, který řídí činnost všech ostatních obvodů. Tento typ mikrokontrolér byl zvolen hlavně kvůli velikostem pamětí (paměť flash 32 KB, EEPROM 1024 B a SRAM 2 KB), využití 3 portů, 1 port zůstává jako rezerva pro případné rozšíření konstrukce. Port A je využit pro ovládací tlačítka, port B pro sériové rozhraní SPI sloužící pro komunikaci s paměťovou kartou, hlasovým modulem, čtečkou RFID tagů a pro ISP programování mikrokontroléru, port C zůstává volný, využívá se jen sériová sběrnice I2C pro RTC obvod reálného času a port D pro doplňující řídicí vodiče a případné využití USART. Zkompilovaný obslužný program zaplňuje cca 65% programové paměti a cca 55% datové paměti při minimálních povolených optimalizacích, bez optimalizací je to 150% programové paměti. [10]

Na port A mikrokontroléru je připojeno 5 tlačítek, jejichž funkce jsou přehledně

vedeny na Obr. 2.19. První tlačítko slouží k přečtení informací k dané zastávce, kdy se aktivuje RFID čtečka, která několikrát testuje, jestli je v dosahu přítomen RFID tag. Pokud přítomen je, tak z něj přečte všechna data a z těchto dat mikrokontrolér zjistí identifikační číslo RFID tagu. Číslo převede na název souboru, který je umístěn na SD kartě a postupně mikrokontrolér vyčítá ASCII znaky uložené v souboru patřícímu k dané zastávce MHD a přehrává je hlasovým modulem. Další tlačítka slouží k zopakování přečtených informací bez nutnosti znovu načítat informace z RFID tagu, přečtení aktuálního času a řízení hlasitosti hlasového výstupu.

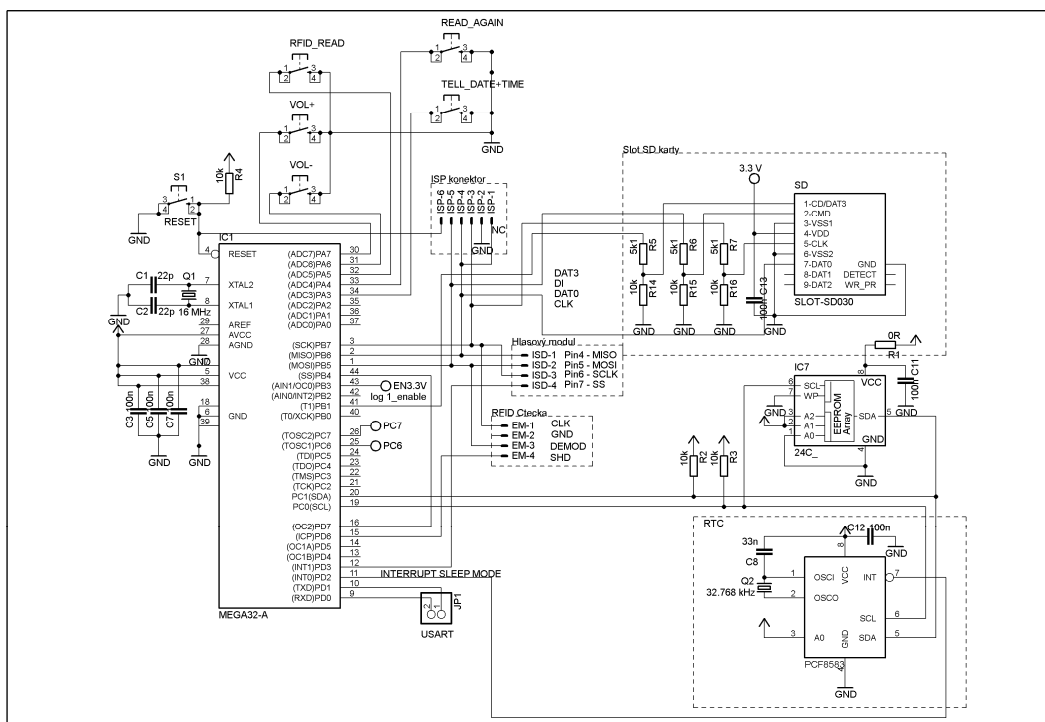
| Funkce tlačítek                |                                           |                                                                                 |
|--------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Tlačítko                       | Primární funkce                           | Sekundární funkce                                                               |
| <b>RFID_READ</b> (PINA 5)      | Čtení RFID tagu + SD vyhledání + přehrání | Nastavení dnů pro RTC<br>( <i>musí být stisklé tlačítko TELL DATE+TIME</i> )    |
| <b>READ_AGAIN</b> (PINA 4)     | Přehrání původně načtených informací      | Nastavení měsíců pro RTC<br>( <i>musí být stisklé tlačítko TELL DATE+TIME</i> ) |
| <b>TELL DATE+TIME</b> (PINA 3) | Přehrání času z RTC                       | Aktivace nastavení pro RTC (rtc_setup)                                          |
| <b>VOL+</b> (PINA 7)           | Zvýšení hlasitosti přehrávání             | Nastavení hodin pro RTC<br>( <i>musí být stisklé tlačítko TELL DATE+TIME</i> )  |
| <b>VOL-</b> (PINA 6)           | Snížení hlasitosti přehrávání             | Nastavení minut pro RTC<br>( <i>musí být stisklé tlačítko TELL DATE+TIME</i> )  |

Obr. 2.19 Funkce jednotlivých ovládacích tlačítek

Na rozhraní SPI mikrokontroléru je připojeno více obvodů. Každý z těchto obvodů má svůj vlastní vodič, který zajišťuje aktivaci komunikace obvodů. V jednom okamžiku po SPI komunikuje jen jediné zařízení, ostatní jsou v danou chvíli uspana. Pro aktivaci komunikace jednotlivých obvodů slouží u hlasového obvodu ISD1730 úroveň na pinu SS připojeném na port D, u EM4095 úroveň na pinu SHD připojeném také na port D a u karty SD je to pin CD připojený k portu B. K ukládání dat pro jednotlivé zastávky MHD je určena paměťová karta SD. Na portu B mikrokontroléru je také pin 3 využívaný pro aktivaci zdroje (měniče TPS 61221) o napětí 3,3 V pro paměťovou kartu SD.

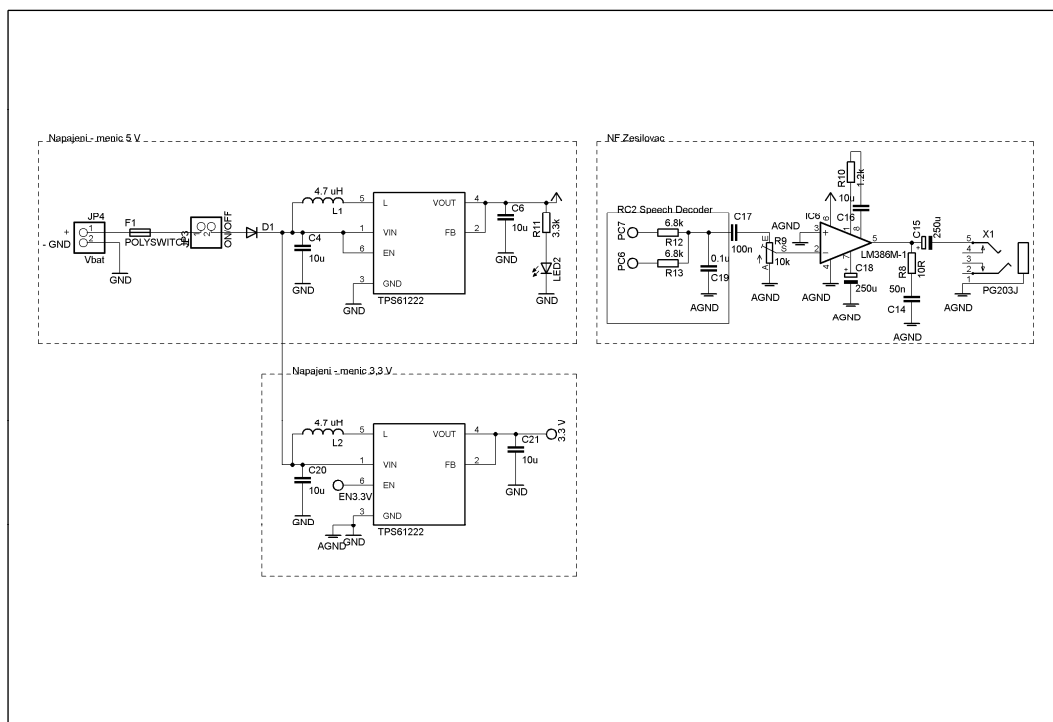
Na portu C mikrokontroléru je využívána sériová sběrnice I2C pro komunikaci s RTC obvodem reálného času, je zde také umístěna paměť EEPROM pro případné rozšíření zařízení o další funkce. Dále jsou zde využity 2 piny PC7 a PC8, kterými je propojen NF zesilovač LM386 s integračním článkem určený pro další možné rozšíření zařízení o jiný druh hlasového výstupu, jednalo by se o jednobitový sériový datový zvukový proud [13].

Port D mikrokontroléru je využit pro aktivaci SPI rozhraní při komunikaci obvodu čtečky RFID konkrétně je to pin PD7, pin PD6 řídí již zmíněnou aktivaci obvodu čtečky RFID, pin PD3 řídí aktivaci obvodu hlasového modulu, pin PD2 je vstupním pinem využitým pro aktivaci mikrokontroléru z režimu spánku a piny PD1 a PD0 jsou vyvedeny pro možné připojení USART rozhraní. Toto by mohlo být využito například pro následný import datových souborů o spojích MHD do paměťové karty SD. Prozatím je předpokládán import datových souborů přímo kopírováním na paměťovou kartu SD vyjmutím karty ze zařízení a vložením do čtečky paměťových karet v PC. Uživatel bude mít nachystán balík dat a jen jej rozbalí nebo zkopíruje na kartu.



Obr. 2.20 Schéma zapojení řídicího obvodu 1.část

Na schématu druhé části řídicího obvodu, Obr. 2.21, lze vidět dva měniče, zajišťující zdroj napájecího napětí 3,3 V pro paměťovou kartu SD a 5 V pro ostatní obvody a dále je zde NF zesilovač s integračním článkem.



Obr. 2.21 Schéma zapojení řídicího obvodu 2. část

## 2.8 Komunikace s SD kartou

Původně byla pro ukládání dat o zastávkách zvolena paměť EEPROM. Pro tuto paměť by se pro budoucí možné aktualizace dat muselo vytvořit rozhraní pro nahrávání nových dat a navíc by se při nutnosti uložení množství dat přesahujících kapacitu EEPROM paměti musela vyměnit za větší. Dále je nutné data uložit tak, aby byla jednoduše přemístitelná z PC do paměti zařízení kvůli možným budoucím aktualizacím dat. Proto byla pro uložení dat zvolena paměťová karta typu SD, kterou lze jednoduše vložit do PC a zkopírovat na ni soubory zastávek.

### 2.8.1 Tvorba názvu souboru

Po vykonání programu z funkce „Kontrola\_a\_ulozeni“ RFID čtečky, ve které je provedena kontrola sudé řádkové parity, ověření stop bitu a uložení datových bitů z RFID tagu do pole `rfid_data[]`, je nutné provést převod těchto dat z hexadecimálního vyjádření na ASCII znaky, které jsou nutné pro volání funkce pro čtení dat z SD karty kap. 2.8.3. Na SD kartě jsou uloženy datové soubory, jejichž názvy odpovídají sériovým číslům jednotlivých RFID tagů. Následující zdrojový kód zobrazuje jak je vytvořen název jednoho datového souboru.

```
sprintf(asc1, "%X", rfid_data[1]);
sprintf(asc2, "%X", rfid_data[2]);
sprintf(asc3, "%X", rfid_data[3]);
sprintf(asc4, "%X", rfid_data[4]);

for(i=0; i<2; i++) rfid_file[i]=asc1[i];
for(i=0; i<2; i++) rfid_file[i+2]=asc2[i];
for(i=0; i<2; i++) rfid_file[i+4]=asc3[i];
for(i=0; i<2; i++) rfid_file[i+6]=asc4[i];
rfid_file[8] = '.';
rfid_file[9] = 'z';
rfid_file[10] = 'm';
rfid_file[11] = 0x00;
```

Na zdrojovém kódu je patrné, že je vybráno jen posledních 32 bitů identifikačního čísla RFID tagu, které představují sériové číslo tagu. Prvních 8 bitů se nebere v potaz, protože se jedná jen o údaj verze tagu, který na konkrétní identifikaci nemá vliv. V první části jsou data z pole `rfid_data[]` převedena na ASCII znaky funkcí `sprintf`, dále jsou tyto znaky uloženy do pole `rfid_file[]`, za ně je umístěna přípona názvu souboru „.zm“ a ukončovací znak v hexadecimálním vyjádření `0x00`. Takto sestavený název souboru je již možné dále předat funkci, která zajišťuje čtení daného souboru z paměti SD karty.

### 2.8.2 Knihovna pro ovládání SD karty

Již zmíněné čtení datových souborů z SD karty je vykonáváno specializovanou knihovnou. Jako nejvhodnější byla vybrána knihovna ze zdroje [12], pomocí níž lze s SD kartou komunikovat přes rozhraní SPI. Knihovna umožňuje čtení a zápis dat na kartu jako holé bloky bez využití souborového systému a také podporuje obsluhu souborového systému FAT32. Je možné soubory z karty číst, zapisovat, zjistit seznam souborů umístěných na kartě, hledat soubory s konkrétním názvem a ověřit volnou a maximální kapacitu paměti. Omezení knihovny spočívá hlavně v tom, že je možné používat názvy souborů o délce maximálně 8 bytů a další 3 byty pro příponu názvu souboru, i s oddělovacím znakem tečky tedy maximálně 12 znaků.

Pro použití v navrhovaném zařízení byla knihovna mírně upravena. V souboru FAT32.c a funkci „readFile“ byla nahrazena část kódu pro čtení dat z karty voláním funkce „ulozeni\_dat“ ukládající data čtená ze souboru náležejícímu k dané zastávce MHD do dočasných datových struktur. Data jsou touto funkcí čtena z paměťové karty po 512 B, proto je funkce „ulozeni\_dat“ volány vždy znovu při načtení dalších 512 B. Přečtení bloku dat o velikosti 512 B z SD karty trvá zhruba 2 ms. Obsah a formát dat souborů i s postupem čtení je popsán v následující kapitole 2.8.3.

### 2.8.3 Čtení datových souborů z SD karty

Pro každou zastávku MHD je nutné uložit informace o sériovém čísle RFID tagu umístěném na dané zastávce, dále jméno zastávky, směry na jaké lze cestovat, čísla linek odjíždějících ze zastávky a časy jejich odjezdů. Pro uložení dat na kartu SD byl zvolen souborový formát csv, který mezi jednotlivé části dat vkládá oddělovací znak středník a lze ho jednoduše upravovat např. v MS Excel.

Pro každou zastávku MHD je vytvořen samostatný soubor, jehož název tvoří sériové číslo RFID tagu umístěném na dané zastávce s příponou názvu souboru „.zm“ (zkratka zastávky MHD). V takovém souboru jsou uloženy již zmíněné informace související se zastávkou, příklad obsahu takového souboru je na obrázku Obr. 2.22. Pro identifikaci jednotlivých druhů záznamu je jméno zastávky odděleno znakem „#“, směr jízdy dopravního prostředku oddělen číslicí, která vyjadřuje pořadí směrů. Dále číslo linky je odděleno znakem „&“, časy odjezdu znakem „@“ a konec souboru znakem „\*“.

```
#skacelova#;1technologicky park1;  
&12&;@0700;0750;0820@;  
&13&;@0720;0734;0805@;  
*
```

Obr. 2.22 Příklad obsahu souboru jedné zastávky MHD

V programu, jehož část je uvedena ve zdrojovém kódu níže, je čtení jednotlivých druhů záznamů zastávky řešeno čtením z daného souboru znak po znaku (SD\_BUFFER\_i reprezentuje aktuálně zpracovávaný znak souboru), kdy při přečtení oddělovacího znaku je obsah nacházející se až po druhý stejný oddělovací znak uložen do předem definované datové struktury. Takto se uloží všechny dostupné informace náležející k zastávce kromě času. Čas je uložen jen nejbližší větší než aktuální čas, který

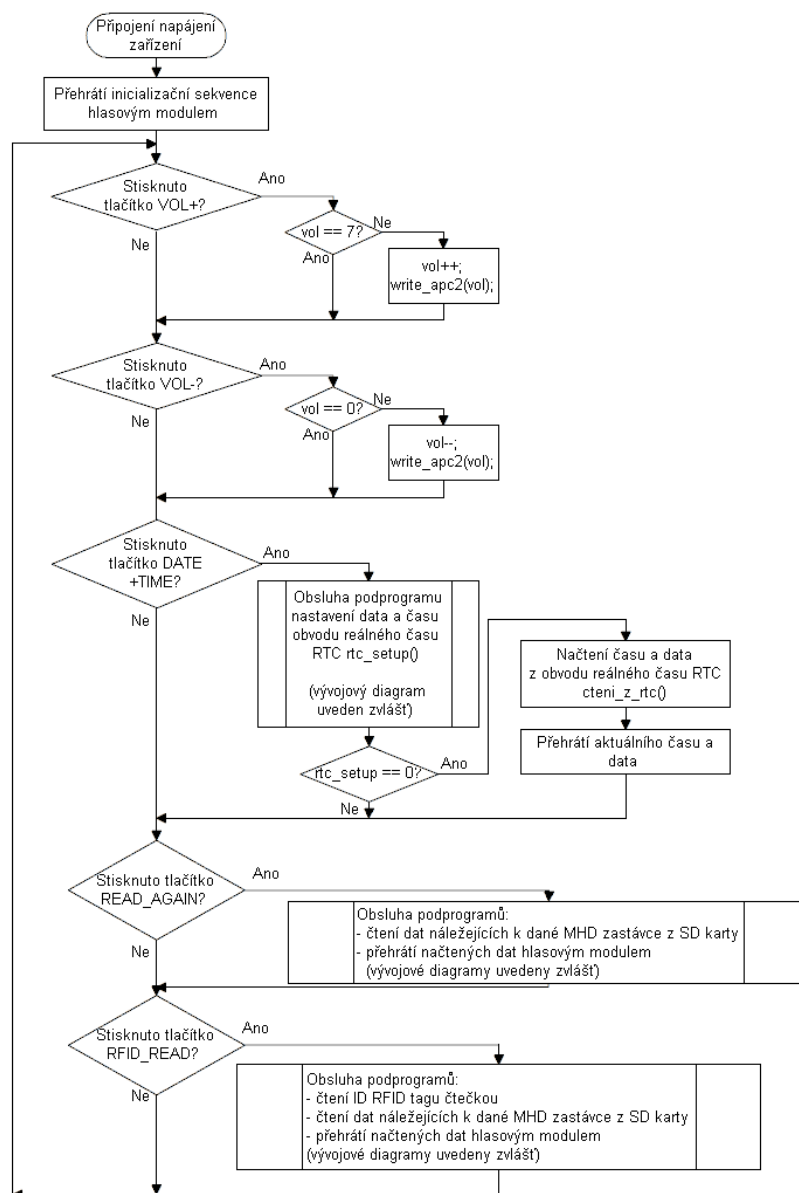
je načten z obvodu reálného času RTC. Toto čtení je aktivní dokud program nenarazí na konec souboru, který je označen znakem „\*“. Uložená data jsou přehrávána hlasovým modulem vždy po uložení dat jedné linky MHD a poté jsou přepsána daty linky následující.

```
while(SD_BUFFER_i != '*'){
    skoc = SD_BUFFER_i;    //nactení dalsiho znaku ze souboru
    if(nedokonceno == TRUE) {
        nedokonceno = FALSE; skoc = pozice;
    }
    pozice = skoc;    //ulozeni aktualni pozice
    i++; //preskoceni specialnich znaku
    if(nul == TRUE) {nul = FALSE; i=0;} //nastaveni i=0 pokud se vola
        //fce vicekrat a chci cist uplne od zacatku
//---SWITCH---
switch(skoc){
    case '#':{
        while(SD_BUFFER_i != '#'){ //ctu dokud neni opet znak, který
            //ukoncuje typ dat
            data_zastavky.zastavka[y] = SD_BUFFER_i; //ulozeni dat
            i++;
            y++;
            if(i==512) {nedokonceno = TRUE; nul = TRUE; return;}
            //vyskoceni z fce pri vyceti celeho bufferu
        }//while
        y=0;
        i++;
    } break;
//...
    case '@':{
        while(SD_BUFFER_i != '@'){
            while((SD_BUFFER_i != '@') && (SD_BUFFER_i != ';')){
                data_linky.cas_odjezdu[y] = SD_BUFFER_i;
                i++;
                y++;
                if(i==512) {nedokonceno = TRUE; nul = TRUE; return;}
            }//while
            if(preskoc_casy != TRUE){
                //---ZJISTENI JESTLI JE CAS VETSI---
                cas_linky = (data_linky.cas_odjezdu[0] - 48) * 1000;
                cas_linky += (data_linky.cas_odjezdu[1] - 48) * 100;
                cas_linky += (data_linky.cas_odjezdu[2] - 48) * 10;
                cas_linky += (data_linky.cas_odjezdu[3] - 48);
                if(cas_linky >= aktualni_cas){
                    if(played==TRUE){hraj_linku(&data_linky);}
                    //prehraje jen [linku a cas] pokud uz byly prehrany
                    else hraj(&data_zastavky, &data_linky);
                    //informace o zastavce, jinak vse

                    played = TRUE;
                    preskoc_casy = TRUE;
                    i++;
                    y=0;
                }//if cas_linky
            }//if preskoc_casy
        }//while
        preskoc_casy = FALSE; played = FALSE;
        y=0; i++; } break;
```

## 2.9 Vývojové diagramy

Na Obr. 2.23 je uveden vývojový diagram hlavního obsluhujícího programu zařízení. Je zde hlavní programová smyčka while, ve které se testuje stisk jednotlivých tlačítek určených pro zvýšení a snížení zesílení výstupního zesilovače hlasového obvodu, nastavení a přehrání aktuálního času a data, načtení identifikačního čísla RFID tagu a přehrání dat z SD karty. Je zde uvedeno volání několika podprogramů, jejichž vývojové diagramy jsou uvedeny samostatně.

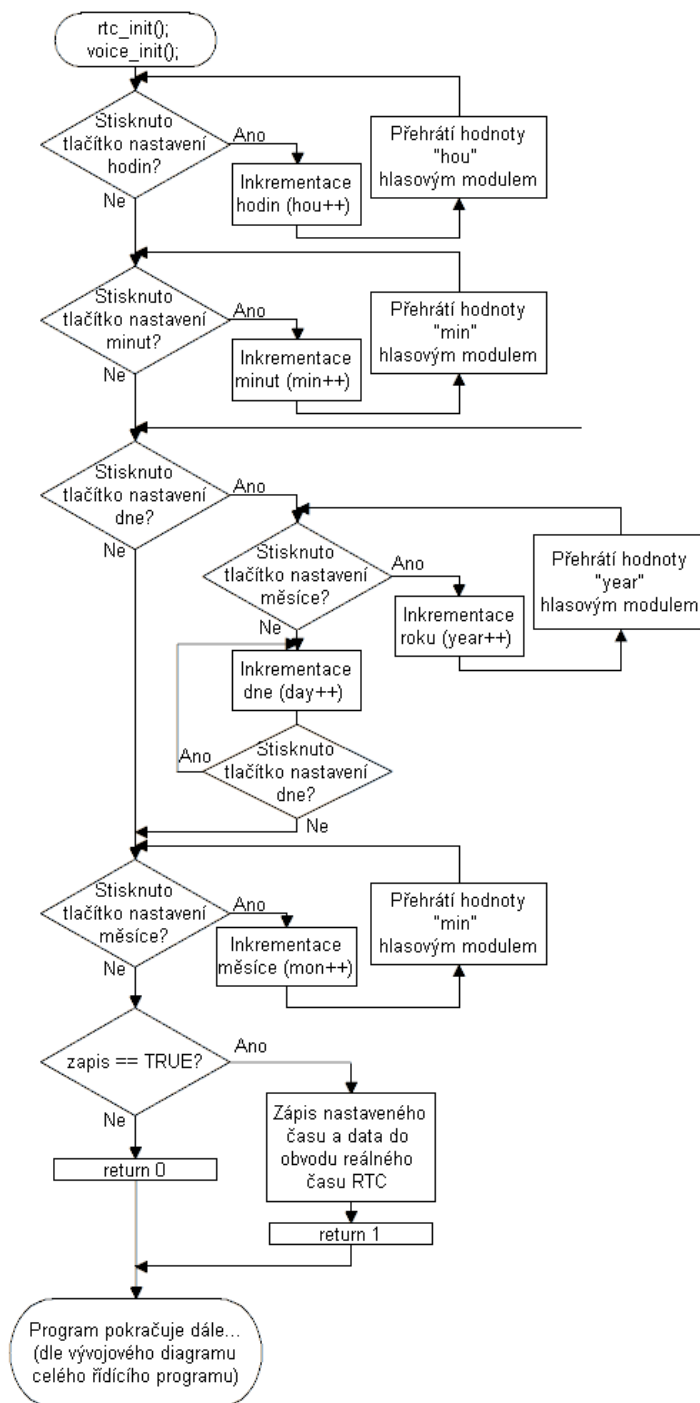


Obr. 2.23 Vývojový diagram hlavního obsluhujícího programu zařízení

Jakmile je na mikrokontrolér přivedeno napájecí napětí, provede se inicializace všech zařízení respektive portů. Následně je hlasovým modulem přehrána inicializační

zvuková sekvence. Program skočí do hlavní smyčky a postupně testuje jestli je stisknuto některé z tlačítek. Při stisknutí tlačítka „VOL+“ je inkrementována a stisknutím tlačítka „VOL-“, dekrementována úroveň hlasitosti zvukového výstupu v osmi úrovních (0-7). Po stisku tlačítka „DATE+TIME“ je vyvolán podprogram pro obsluhu nastavení data a času RTC obvodu reálného času, který testuje, jestli je zároveň stisknuto tlačítko pro nastavení jednoho z parametrů tohoto obvodu, podprogram je popsán níže. Pokud je tomu tak, tak je dané nastavení obvodu RTC vykonáno a program se vrátí zpět do hlavní smyčky. Pokud tomu tak není, tak je zjištěn aktuální čas a datum z obvodu RTC a tyto údaje jsou předány hlasovému obvodu, který je přehraje a program se vrátí do hlavní smyčky. Při stisknutí tlačítka „RFID\_READ“ je volána obsluha podprogramů čtení ID RFID tagu čtečkou, čtení dat náležející k dané MHD zastávce z paměťové karty SD a přehrání načtených dat hlasovým obvodem. Tyto podprogramy jsou popsány níže. Po stisku tlačítka „READ\_AGAIN“ jsou volány jen dva z těchto tří podprogramů jak je uvedeno na Obr. 2.23.

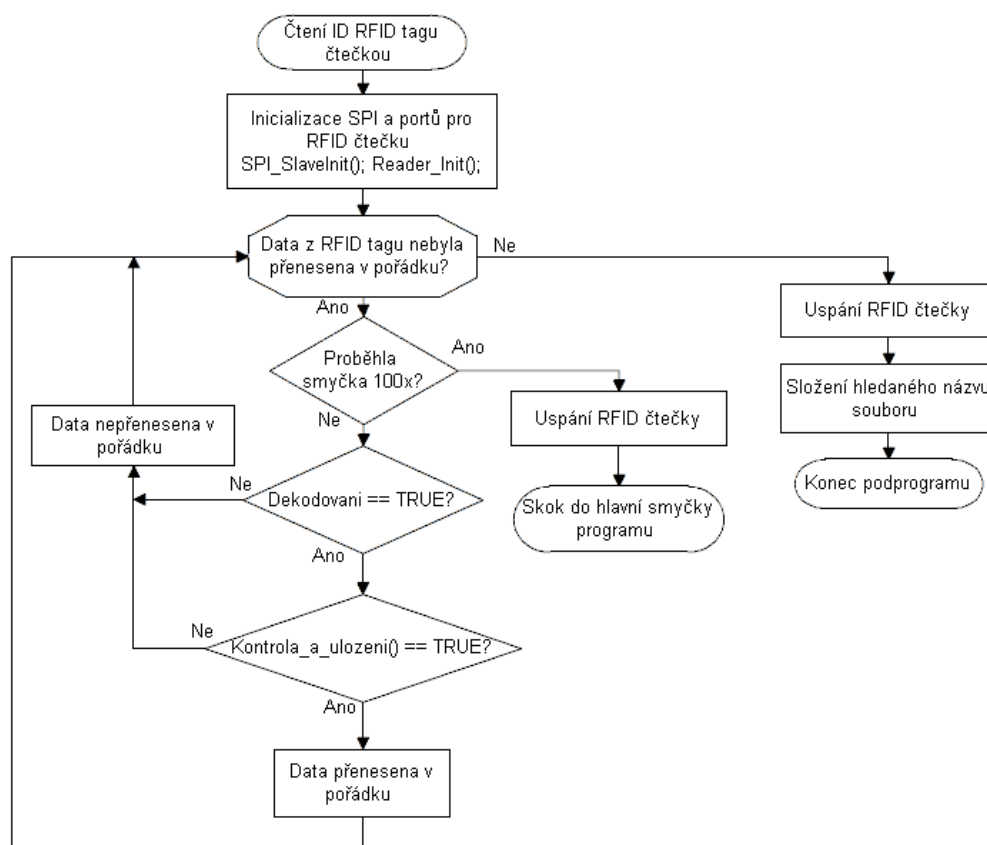
Na dalším obrázku Obr. 2.24 je uveden vývojový diagram podprogramu pro nastavení data a času RTC obvodu reálného času. Nejdříve jsou obvod RTC a hlasový modul inicializovány, zároveň s vloženým menším zpožděním nutným pro případný stisk dalšího tlačítka pro nastavení parametrů RTC obvodu. Následně je sepnutí těchto tlačítek testováno a při sepnutí některého z nich je inkrementován parametr RTC obvodu náležející k danému tlačítku a zároveň přehráván hlasovým obvodem. Pro nastavení jednoho z parametrů RTC obvodu je tedy nutné stisknout zároveň dvě tlačítka, výjimku tvoří nastavení roku, při kterém je nutné stisknout 3 tlačítka současně. Nakonec podprogram vyhodnotí, jestli byly provedeny změny a je nutné zapsat nastavená data do RTC obvodu.



Obr. 2.24 Vývojový diagram podprogramu pro nastavení data a času RTC obvodu

Na následujícím obrázku Obr. 2.25 je zobrazen vývojový diagram podprogramu pro čtení ID RFID tagu. Nejprve je inicializováno rozhraní SPI a piny mikrokontroléru nutné pro obsluhu čtečky. Podprogram skočí do smyčky, která probíhá dokud nejsou

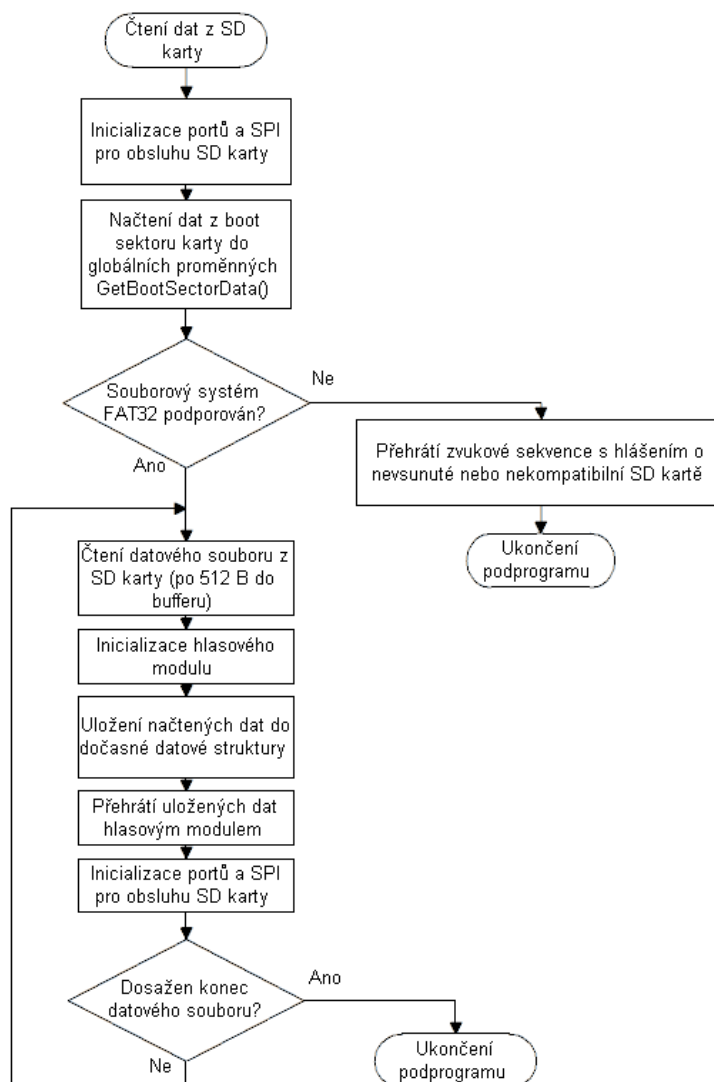
data z RFID tagu přenesena v pořádku. Tato smyčka probíhá stokrát, aby byla zajištěna časová prodleva mezi stiskem tlačítka a přiložením RFID čtečky do čtecí vzdálenosti k tagu. Následně jsou přijímána data po SPI rozhraní a je po určité době nebo počet period hodinového signálu na pinu rozhraní SPI testována přítomnost bitů náležejících startovací sekvenci (hlavičce) posílaných dat z RFID tagu. Po zjištění přítomnosti této sekvence je přijato dostatečné množství dat (tag opakuje vysílání obsahu své paměti dokud je v jeho blízkosti dostatečně velké elektromagnetické pole pro jeho napájení) pro dekódování kódu Manchester od startovací sekvence až po stop bit. Dekódovaným datům je vypočítána sudá řádková parita a poté jsou již holá data uložena. Podprogram vyskočí ze smyčky, uspí RFID čtečku a složí z dat název hledaného souboru. Takto tato smyčka podprogramu probíhá maximálně stokrát (při neúspěšných detekcích), nebo do prvního úspěšného přečtení RFID tagu.



Obr. 2.25 Vývojový diagram podprogramu pro čtení ID RFID tagu

Podprogram pro čtení dat z paměťové karty SD je uveden na Obr. 2.26. Nejprve je opět inicializováno rozhraní SPI s připojenou kartou, načtou se data z boot sektoru karty do globálních proměnných nutných pro další práci s kartou. Následně je zjištěno, jestli daná karta podporuje souborový systém FAT32. Pokud ano, tak podprogram dále

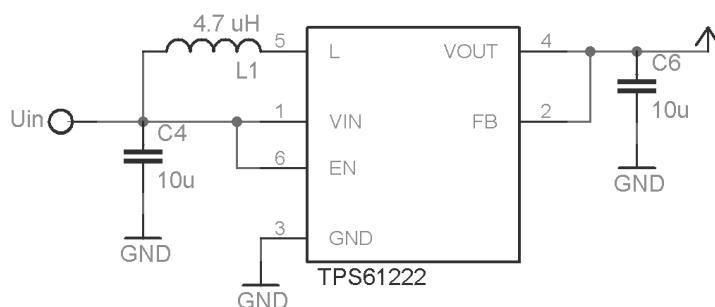
pokračuje čtením zvoleného datového souboru z SD karty, toto probíhá po blocích o velikosti 512 B. Program projde a uloží jednotlivé druhy záznamu (jméno zastávky, směry jízdy linky, nejbližší čas odjezdu apod.) do dočasné datové struktury. Následně proběhně přehráví uložených dat hlasovým modulem a opět inicializace portů a SPI pro načtení dalšího bloku 512 B dat z paměťové karty SD. Pokud je detekován konec datového souboru ze kterého je právě čteno, tak je podprogram ukončen, v opačném případě se smyčka podprogramu uzavírá a popsané operace od načtení dalších 512 B dat z karty SD se opakují.



Obr. 2.26 Podprogram pro čtení dat z paměťové karty SD

## 2.10 Napájení zařízení

Pro napájení celého zařízení byly zvoleny 2 Ni-MH akumulátory velikosti AA s jmenovitých napětích 1,2 V, dohromady tedy 2,4 V. Toto napájecí napětí nepostačuje pro napájení zařízení, protože např. obvod RFID čtečky EM4095 pracuje pouze s napájecím napětím 5 V. Z tohoto důvodu byla zvolena nominální hodnota napájení 5 V, která je z 2,4 V (dodaných akumulátory) vytvořena spínaným stejnosměrným měničem neboli stepup konvertorem TPS61222 s vysokou účinností od firmy Texas Instruments, typické zapojení obvodu je na Obr. 2.27. Jeho maximální výstupní proud je určen velikostí vstupního napětí, pro 2,4 V je maximální výstupní proud cca 120 mA. Při připojení obvodu bez zátěže odebírá klidový proud cca 12  $\mu$ A. Paměťová karta SD vyžaduje napájení 3,3 V, proto byl v zapojení použit druhý téměř totožný měnič TPS61221 s výstupním napětím 3,3 V.



Obr. 2.27 Typické zapojení obvodu TPS61222 [14]

Oba obvody obsahují vstup EN pro aktivaci činnosti obvodu (logickou 1). Pokud je obvod neaktivovaný, je jeho vstupní napětí přímo připojeno na výstupní pin. Obvody mají integrovanou ochranu proti přetížení a také ochranu proti přepětí na výstupu konvertoru, kdy je výstupní napětí regulováno na maximální hodnotu 6,5 V. Obvody mají také integrovanou ochranu proti tepelnému přehřátí, při dosažení teploty 140°C je obvod odpojen. [14]

Pro správnou funkci obvodu je nutné připojit mezi piny L a VIN tlumivku, jejíž doporučená hodnota pro celý rozsah vstupních a výstupních napětí je 4,7  $\mu$ H. Zvolení jiné hodnoty tlumivky L1 ovlivní spínací frekvenci konvertoru, což lze odvodit ze vzorce

$$L = \frac{1}{f \cdot 0,2} \cdot \frac{U_{in} \cdot (U_{out} - U_{in})}{U_{out}} \quad (2.1)$$

kde  $L$  je indukčnost cívky L1,  $f$  je spínací frekvence obvodu,  $U_{in}$  vstupní napětí a  $U_{out}$  výstupní napětí měniče. Nižší hodnoty než 2,2  $\mu$ H nejsou doporučeny. Maximální špičkový proud pro trvalý provoz procházející tlumivkou lze vypočítat podle vzorce

$$I_{L(max)} = \frac{U_{out} \cdot I_{out}}{0.8 \cdot U_{in}} + 0.1 \quad (2.2)$$

kde  $I_{L(max)}$  je maximální špičkový proud pro trvalý provoz procházející tlumivkou,  $U_{out}$  je výstupní napětí,  $I_{out}$  výstupní proud a  $U_{in}$  vstupní napětí. Při předpokládaných hodnotách  $U_{out}$  5 V,  $I_{out}$  200 mA a  $U_{in}$  2,4 V je maximální proud procházející tlumivkou L1 roven 0,62 A, tlumivka proto musí být dimenzovaná alespoň pro tento proud. [14]

Ze vzorce (2.2) lze tedy odvodit spínací frekvenci měniče (2.3) a po dosazení za  $L = 4,7 \mu\text{H}$ ,  $U_{in} = 2,4 \text{ V}$  a  $U_{out} = 5 \text{ V}$  lze vypočítat spínací frekvenci měniče

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{L \cdot 0,2} \cdot \frac{V_{IN} \cdot (V_{OUT} - V_{IN})}{V_{OUT}} \\ f &= \frac{1}{4,7 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2} \cdot \frac{2,4 \cdot (5 - 2,4)}{5} \\ \underline{f} &= \underline{1,327 \text{ MHz}} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Na výstupu měniče TPS61222 lze pozorovat průběh stejnosměrné složky napětí hodnoty 5 V se superponovanými pravoúhlými pulzy, jejichž frekvence je rovna 1,22 MHz, což při započítání 10% tolerance hodnoty indukčnosti tlumivky odpovídá teoreticky spočítané spínací frekvenci 1,327 MHz. [14]

### 2.10.1 Proudové odběry

Byly změřeny proudové odběry jednotlivých částí zařízení při nečinnosti a při jejich standardní činnosti, kdy komunikují s řídicím mikrokontrolérem. Změřené hodnoty jsou zobrazeny v Tab. 9. Při nečinnosti jednotlivých částí zařízení je jejich proudový odběr minimální, pohybuje se v řádu desítek  $\mu\text{A}$ . Na rozdíl od stavu jejich činnosti, kde má největší proudový odběr RFID čtečka a to 240 mA při čtení tagu a nejmenší proudový odběr byl zaznamenán u paměťové karty SD, který činil 14 mA při komunikaci.

Tab. 9 Změřené hodnoty proudových odběrů částí zařízení

| Část zařízení                                                                                                                                | Proudový odběr     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>Celé zařízení v klidu</b> - RFID čtečka, hlasový modul a paměť.karta SD uspány (proud odebíraný z akumulátorů, $V_{in} = 2,4 \text{ V}$ ) | 64 mA              |
| <b>RFID čtečka</b> - nečinná                                                                                                                 | 0,3 $\mu\text{A}$  |
| <b>RFID čtečka</b> - při čtení tagu                                                                                                          | 240 mA             |
| <b>Hlasový modul</b> - nečinný                                                                                                               | 31,8 $\mu\text{A}$ |
| <b>Hlasový modul</b> - při přehrávání                                                                                                        | 50 mA              |
| <b>Paměťová SD karta</b> - nečinná (odpojeno její napájení)                                                                                  | -                  |
| <b>Paměťová SD karta</b> - při komunikaci                                                                                                    | 14 mA              |

### 3 ZÁVĚR

V této diplomové práci byla prostudována problematika technologie RFID. Pozornost byla zaměřena na obecný popis práce RFID systémů a postup komunikace tagu se čtecím zařízením. Následně byl rozebrán princip spojení mezi čtecím zařízením a tagem pro jednotlivé používané frekvence. Dále byla uvedena skladba elektronického kódu produktu (EPC), který je v podstatě centrálním datovým prvkem RFID technologie. Na konci první kapitoly je uvedeno rozdělení tagů do různých kategorií podle zdroje energie, přístupu, třídy a provedení.

Ve druhé kapitole je rozebrán výběr jednotlivých prvků obvodu, při němž byl kladen velký důraz na co nejnižší cenu celého zařízení. Bylo sestaveno blokové schéma výsledného zařízení pro identifikaci zastávek MHD. Pro RFID čtecí zařízení byl vybrán integrovaný obvod vysílače a přijímače EM4095, pracující na frekvenci 125 kHz. Výhodou obvodu je jeho nízká cena a možnost komunikace s tagy určenými pro čtení i zápis. Bylo sestrojeno experimentální čtecí zařízení tagů s tímto obvodem, se kterým byly změřeny čtecí vzdálenosti tagů. Dále byl vytvořen řídicí program v jazyku C pro čtecí zařízení, který je uvedený na příloženém CD. Jako nejvhodnější tag z dostupných vzorků byl vybrán metal tag (EO2118/5P) od firmy Lux-Ident, u něhož byla při experimentálním měření naměřena největší čtecí vzdálenost na kovové konstrukci zastávky a to 36 mm.. Pro hlasový modul byl vybrán integrovaný obvod ISD1730SY od firmy Winbond. Obvod umožňuje záznam a následné přehrávání až 60 s zvuku, což je při 36 hláskách abecedy dostatečná doba. K navrženému a vyrobenému hlasovému modulu s tímto obvodem byla vytvořena knihovna v jazyce C a program pro přehrávání hlásek uvedený na příloženém CD. Následný návrh byl zaměřen na obvodové schéma, DPS a obslužný program pro řídicí obvod, který je rovněž uveden na příloženém CD. Byla popsána využívaná programová část komunikace s paměťovou kartou SD, především tvorba názvu jednotlivých souborů s daty náležejícími k dané MHD zastávce uložených na paměťové kartě SD, dále formát uložených souborů a způsob jejich čtení. V poslední kapitole práce byl popsán obvod starající se o napájení zařízení a proudové odběry jednotlivých částí tvořících celé zařízení, největší proudová spotřeba byla zaznamenána při aktivním obvodu RFID čtečky a to 240 mA. Fotografie zkonstruovaného zařízení jsou uvedeny v příloze B. Nakonec bylo zařízení jako funkční prototyp otestováno v praxi na zastávce MHD.

Navržené zařízení pro identifikaci zastávek MHD s využitím technologie RFID je vhodnou alternativou pro nyní zaváděné informační tabule na MHD zastávkách větších měst. Na rozdíl od těchto informačních tabulí je způsob označení zastávek popsán v této práci pomocí RFID tagů mnohonásobně levnější, na každou zastávku např. pod jízdní řád stačí umístit jeden malý RFID tag a systém může být spuštěn do provozu. Další investice do fyzického zajištění chodu systému od provozovatele nejsou zapotřebí. Pouze je nutná výroba zařízení pro identifikaci zastávek, které bude dostupné nevidomým a např. na volně dostupných webových stránkách udržovat aktualizované soubory o spojích MHD, určených pro identifikační zařízení nevidomých lidí, kteří by tento systém využívali.

# LITERATURA

- [1] LEHPAMER, H. *RFID Design Principles*. London : Artech House, 2008. 291 s.
- [2] EM Microelectronic-Marin SA. *EM4095 Application Note* [online]. EM Microelectronic-Marin SA, 2002 – [cit. 24.4.2011]. Dostupné na [www: <http://www.emmarin.com/webfiles/product/rfid/an/an404.pdf>](http://www.emmarin.com/webfiles/product/rfid/an/an404.pdf).
- [3] Priority 1 Design. *RFID basics* [online]. Priority 1 Design, - [cit. 24.4.2011]. Dostupné na [www: <http://www.priority1design.com.au/rfid\\_design.html>](http://www.priority1design.com.au/rfid_design.html).
- [4] VOJTĚCH, L. *RFID - technologie pro internet věcí* [online]. [cit. 24.4.2011]. Dostupné na [www: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009020001>](http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009020001).
- [5] IRBER, J. *Obecně o RFID* [online]. Eprin spol. s r.o., 2008 – [cit. 24.4.2011]. Dostupné na [www: <http://www.eprin.cz/index.php?info=r-tech>](http://www.eprin.cz/index.php?info=r-tech).
- [6] Combitrading. *RFID technologie* [online]. Combitrading s.r.o., - [cit. 24.4.2011]. Dostupné na [www: <http://www.combitrading.cz/technologie/rfid-technologie.html>](http://www.combitrading.cz/technologie/rfid-technologie.html).
- [7] Project invest. *Co je RFID* [online]. Project invest spol. s r.o., – [cit. 24.4.2011]. Dostupné na [www: <http://www.rfidportal.cz/index.php?page=rfid\\_obecne>](http://www.rfidportal.cz/index.php?page=rfid_obecne).
- [8] Lux-Ident. *Produkty* [online]. Lux-Ident s.r.o., – [cit. 24.4.2011]. Dostupné na [www: <http://www.lux-ident.com/cs/produkty>](http://www.lux-ident.com/cs/produkty).
- [9] Winbond Electronics Corp. *ISD1700 Series Design Guide* [online]. Winbond Electronics Corp, 2007 - [cit. 24.4.2011]. Dostupné na [www: <http://www.vla.com.br/news/I1700%20Design%20Guide%20Rev%201.1.pdf>](http://www.vla.com.br/news/I1700%20Design%20Guide%20Rev%201.1.pdf).
- [10] Atmel Corporation. *ATmega32(L)* [online]. Atmel Corporation, 2011 - [cit. 24.4.2011]. Dostupné na [www: <www.atmel.com/atmel/acrobat/doc2503.pdf>](http://www.atmel.com/atmel/acrobat/doc2503.pdf).
- [11] EM Microelectronic-Marin SA. *EM4102 Read Only Contactless Identification Device* [online]. EM Microelectronic-Marin SA, 2005 – [cit. 24.12.2011]. Dostupné na [www: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/154656/EMMICRO/EM4102.html>](http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/154656/EMMICRO/EM4102.html).
- [12] CC Dharmani. *SD/SDHC Card Interfacing with ATmega8 /32 (FAT32 implementation)* [online]. CC Dharmani, 2009 - [cit. 24.1.2012]. Dostupné na [www: <http://www.dharmanitech.com/2009/01/sd-card-interfacing-with-atmega8-fat32.html>](http://www.dharmanitech.com/2009/01/sd-card-interfacing-with-atmega8-fat32.html).
- [13] Pandatron.cz - Elektrotechnický magazín ISSN 1803-6007. *Zvukový přehrávač v jednočipu* [online]. Pandatron.cz - Elektrotechnický magazín ISSN 1803-6007, 2009 - [cit. 2.5.2012]. Dostupné na [www: <http://pandatron.cz/?590&zvukovy\\_prehravac\\_v\\_jednocipu>](http://pandatron.cz/?590&zvukovy_prehravac_v_jednocipu).
- [14] Texas Instruments Incorporated. *LOW INPUT VOLTAGE STEP-UP CONVERTER IN 6 PIN SC-70 PACKAGE* [online]. Texas Instruments Incorporated, 2009 – [cit. 2.5.2012]. Dostupné na [www: <http://www.ti.com/lit/ds/slvs776/slvs776.pdf>](http://www.ti.com/lit/ds/slvs776/slvs776.pdf).
- [15] EM Microelectronic-Marin SA. *RFID Made Easy* [online]. EM Microelectronic-Marin SA, 2002 – [cit. 2.5.2012]. Dostupné na [www: <http://www.emmicroelectronic.com/webfiles/product/rfid/an/an411.pdf>](http://www.emmicroelectronic.com/webfiles/product/rfid/an/an411.pdf).

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

|          |                                                                                                  |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| APC      | Analog Path Configuration registr obvodu ISD1730                                                 |
| ASCII    | American Standard Code for Information Interchange, americký standardní kód pro výměnu informací |
| CD       | Compact disc, kompaktní disk (digitální optický datový nosič)                                    |
| DPS      | Deska plošných spojů                                                                             |
| DVD      | Digital versatile disc, digitální optický datový nosič                                           |
| EEPROM   | Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, elektricky mazatelná paměť ROM              |
| EPC      | Electronic Product Code, elektronický kód produktu                                               |
| HF       | High frequency, vysoká frekvence (3 – 30 MHz)                                                    |
| ISP      | In-system programming, programování mikrokontrolérů uvnitř obvodu                                |
| LED      | Light emitting diode, dioda emitující světlo                                                     |
| LF       | Low frequency, nízká frekvence (30 – 300 kHz)                                                    |
| MHD      | Městská hromadná doprava                                                                         |
| OOK      | On-off modulace (100 % AM modulace)                                                              |
| PCB      | Printed circuit board, deska plošných spojů                                                      |
| PLL      | Phase locked loop, smyčka fázového závěsu                                                        |
| PVC      | Polyvinylchlorid (umělá hmota)                                                                   |
| PWM      | Pulse width modulation, pulsně šířková modulace                                                  |
| RFID     | Radio-frequency identification, radio-frekvenční identifikace                                    |
| SD karta | Paměťová karta typu Secure digital                                                               |
| SPI      | Serial peripheral interface, sériové rozhraní pro periferie                                      |
| TTL      | tranzistorově tranzistorová logika                                                               |
| UHF      | Ultra high frequency, ultra vysoká frekvence (300 – 3000 MHz)                                    |

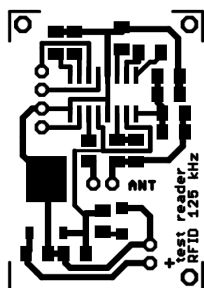
# SEZNAM PŘÍLOH

|          |                                                                      |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>A</b> | <b>Návrh zařízení</b>                                                | <b>45</b> |
| A.1      | Obvodové schéma čtečky RFID .....                                    | 45        |
| A.2      | Deska plošného spoje obvodu čtečky RFID (strana součástek) .....     | 46        |
| A.3      | Osazovací schéma čtečky .....                                        | 46        |
| A.4      | Deska plošného spoje antény čtečky (cca 33 $\mu$ H, oboustraná)..... | 46        |
| A.5      | Seznam součástek čtečky RFID.....                                    | 47        |
| A.6      | Obvodové schéma hlasového modulu .....                               | 48        |
| A.7      | Deska plošného spoje hlasového modulu (strana součástek - top).....  | 49        |
| A.8      | Deska plošného spoje hlasového modulu (strana spojů - bottom).....   | 49        |
| A.9      | Osazovací schéma hlasového modulu(strana součástek – top) .....      | 50        |
| A.10     | Osazovací schéma hlasového modulu (strana spojů – bottom) .....      | 50        |
| A.11     | Seznam součástek hlasového modulu.....                               | 51        |
| A.12     | Obvodové schéma řídicího obvodu .....                                | 52        |
| A.13     | Deska plošného spoje řídicího obvodu (strana součástek - top).....   | 54        |
| A.14     | Deska plošného spoje řídicího obvodu (strana spojů - bottom).....    | 54        |
| A.15     | Osazovací schéma řídicího obvodu (strana součástek – top) .....      | 55        |
| A.16     | Osazovací schéma řídicího obvodu (strana spojů – bottom) .....       | 55        |
| A.17     | Seznam součástek řídicího obvodu.....                                | 56        |
| <b>B</b> | <b>Fotografie zařízení</b>                                           | <b>57</b> |
| <b>C</b> | <b>Zdrojové kódy</b>                                                 | <b>59</b> |
| C.1      | Hlavní smyčka řídicího programu (soubor SD_main.c).....              | 59        |

## A.1 Obvodové schéma čtečky RFID

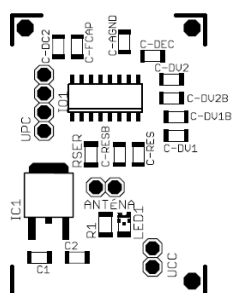


## A.2 Deska plošného spoje obvodu čtečky RFID (strana součástek)



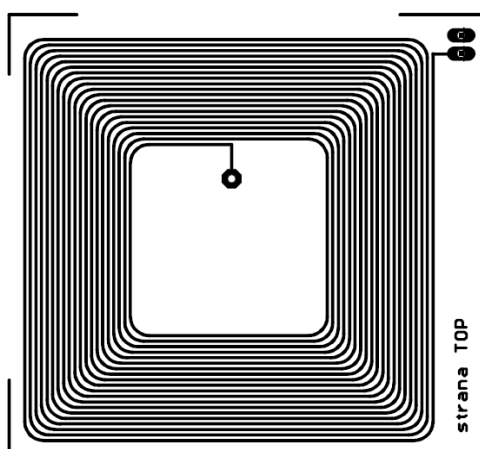
Rozměr desky 26 x 38 [mm], měřítko M1:1

### A.3 Osazovací schéma čtečky

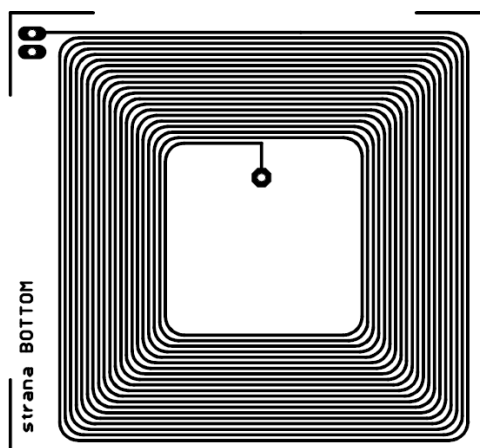


Rozměr desky 26 x 38 [mm], měřítko M1:1

#### A.4 Deska plošného spoje antény čtečky (cca 33 $\mu\text{H}$ , oboustraná)



Rozměr desky 63 x 59 [mm], měřítko M1:1

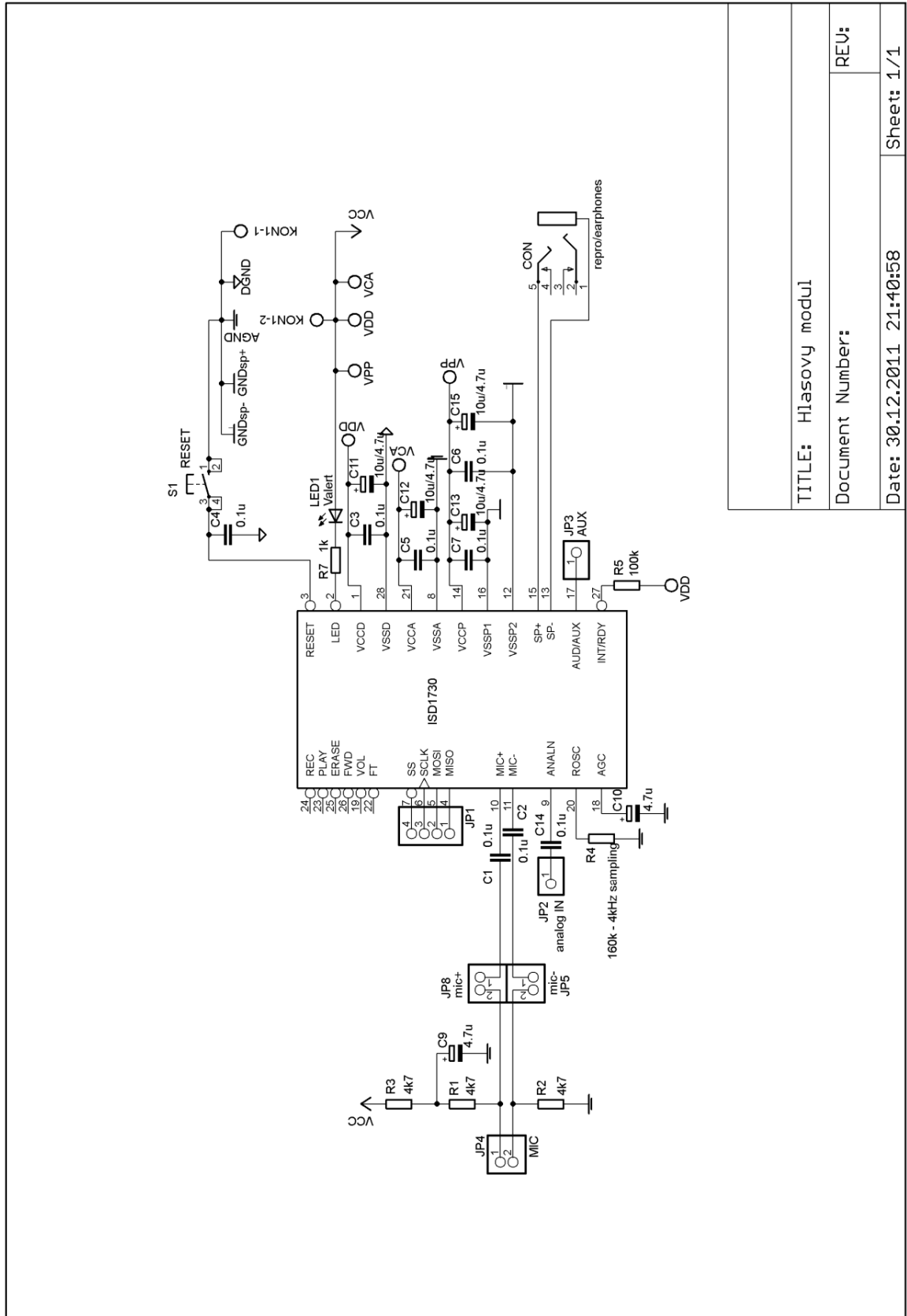


Rozměr desky 63 x 59 [mm], měřítko M1:1

## A.5 Seznam součástek čtečky RFID

| Označení | Hodnota      | Pouzdro | Popis                     |
|----------|--------------|---------|---------------------------|
| R1       | 680 $\Omega$ | 1206    | Rezistor SMD              |
| RSER     | 33 $\Omega$  | 1206    | Rezistor SMD              |
| CRES     | 15 nF        | 1206    | Keramický kondenzátor SMD |
| CDV1     | 47 pF        | 1206    | Keramický kondenzátor SMD |
| CDV2     | 1,5 nF       | 1206    | Keramický kondenzátor SMD |
| CDEC     | 100 nF       | 1206    | Keramický kondenzátor SMD |
| CAGND    | 200 nF       | 1206    | Keramický kondenzátor SMD |
| CDC2     | 6,8 nF       | 1206    | Keramický kondenzátor SMD |
| CFCAP    | 10 nF        | 1206    | Keramický kondenzátor SMD |
| C1       | 330 nF       | 1206    | Keramický kondenzátor SMD |
| C2       | 100 nF       | 1206    | Keramický kondenzátor SMD |
| IC1      | 7805DT       | D2PACK  | Stabilizátor na 5 V (SMD) |
| D1       | LED SMD      | -       | LED dioda SMD             |

## A.6 Obvodové schéma hlasového modulu



TITLE: Hlasovy modul

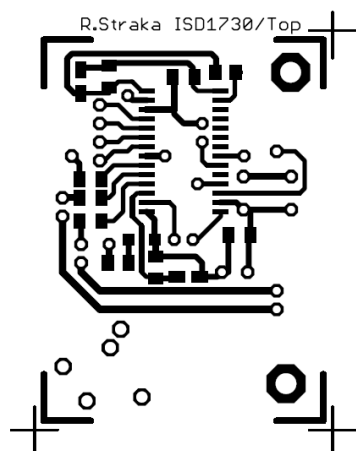
Document Number:

REV:

Date: 30.12.2011 21:40:58

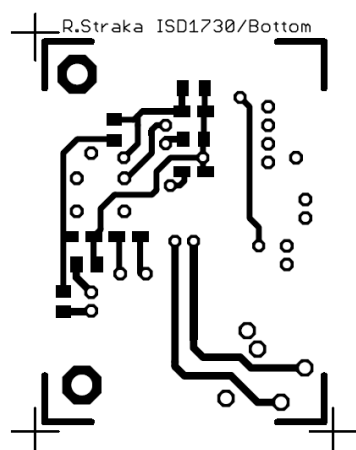
Sheet: 1/1

### A.7 Deska plošného spoje hlasového modulu (strana součástek - top)



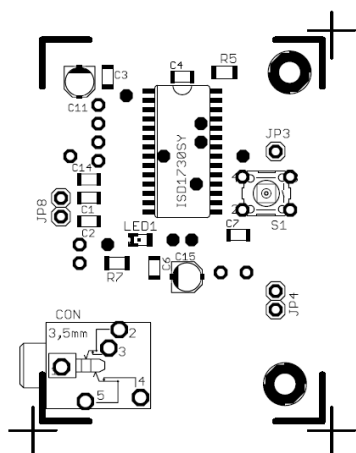
Rozměr desky 38 x 52 [mm], měřítko M1:1

### A.8 Deska plošného spoje hlasového modulu (strana spojů - bottom)



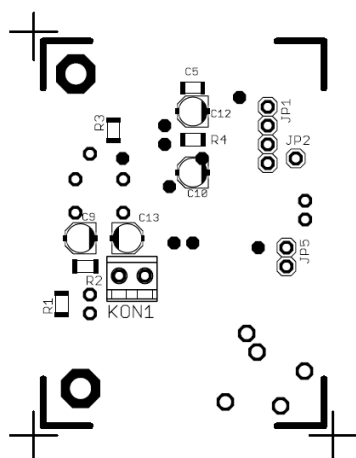
Rozměr desky 38 x 52 [mm], měřítko M1:1

## A.9 Osazovací schéma hlasového modulu (strana součástek – top)



Rozměr desky 38 x 52 [mm], měřítko M1:1

## A.10 Osazovací schéma hlasového modulu (strana spojů – bottom)

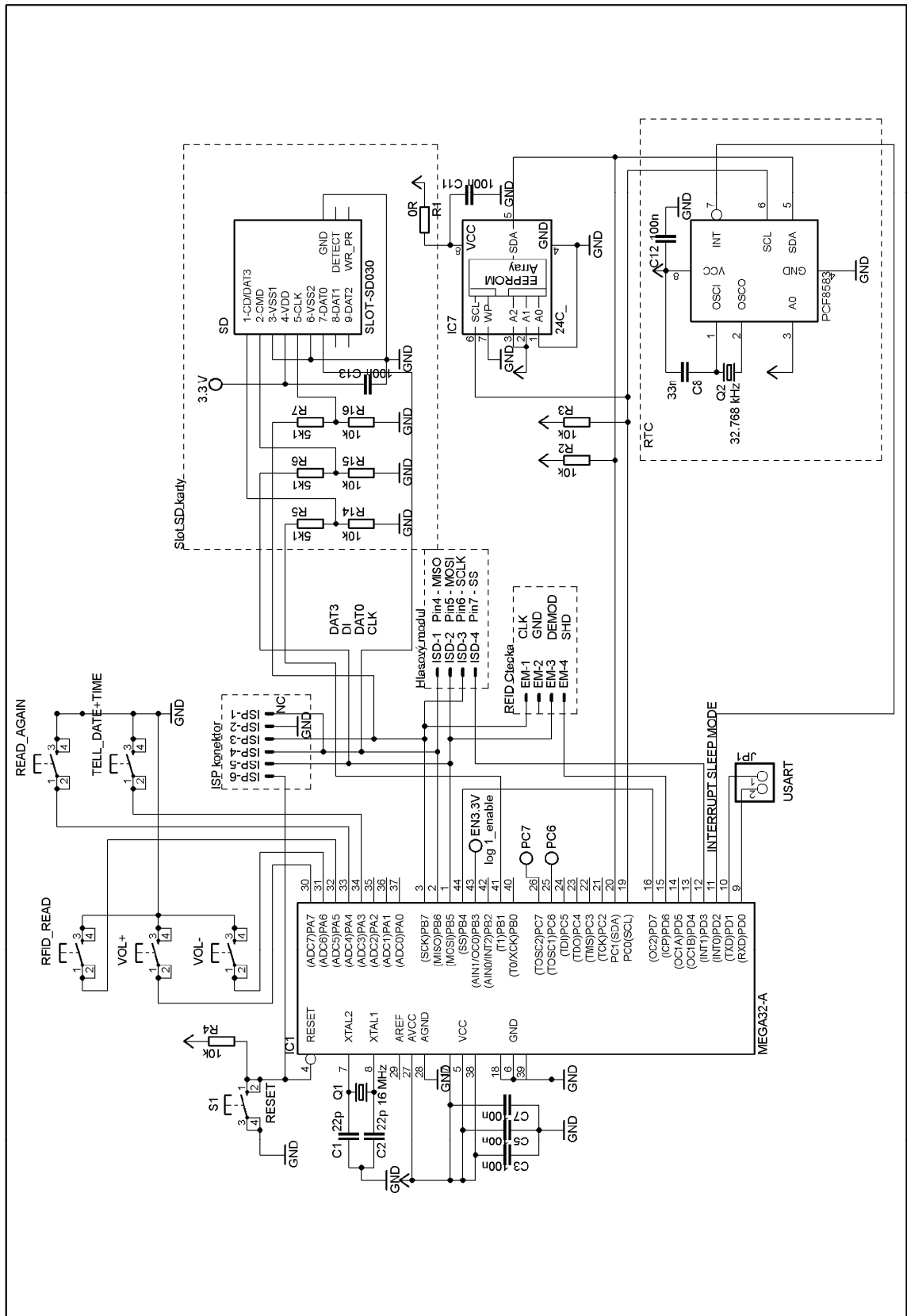


Rozměr desky 38 x 52 [mm], měřítko M1:1

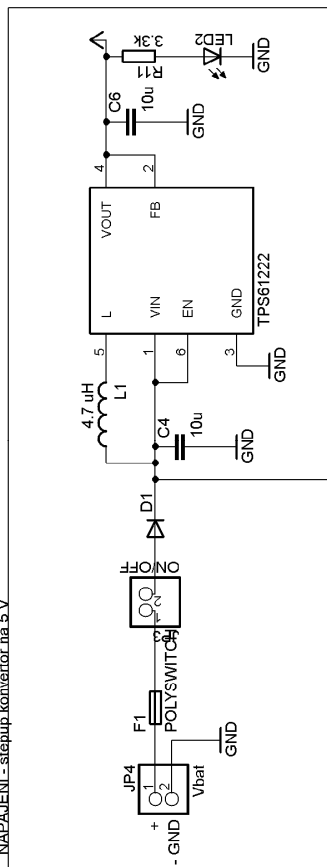
## A.11 Seznam součástek hlasového modulu

| Označení                 | Hodnota         | Pouzdro      | Popis                          |
|--------------------------|-----------------|--------------|--------------------------------|
| C1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14 | 0.1u            | C1206K       | Keramický kondenzátor SMD      |
| C9, 10                   | 4.7μ            | B            | Elektrolytický kondenzátor SMD |
| C11, 12, 13, 15          | 10μ/4.7μ        | B            | Elektrolytický kondenzátor SMD |
| CON                      | repro/earphones | PG203J       | Konektor jack do DPS           |
| ISD1                     | ISD1730SY       | SO28W        | Zvukový IO                     |
| JP1                      | 1X04            | pinhead      | Konektorový kolík              |
| JP2, JP3                 | 1X01            | pinhead      | Konektorový kolík              |
| JP4, JP5, JP8            | 1X02            | pinhead      | Konektorový kolík              |
| KON1                     | AK550/2         | con-ptr500   | Svorkovnice PTR                |
| LED1                     | červená         | CHIPLED_1206 | LED dioda SMD                  |
| R1, R2, R3               | 4k7             | M1206        | Rezistor SMD                   |
| R4                       | 120k            | M1206        | Rezistor SMD                   |
| R5                       | 100k            | M1206        | Rezistor SMD                   |
| R7                       | 1k              | M1206        | Rezistor SMD                   |
| S1                       | B3F-10XX        | switch-omron | Mikrospínač                    |

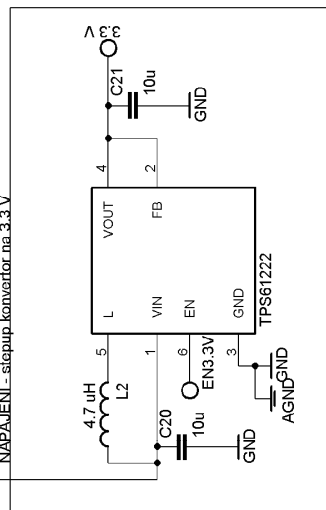
## A.12 Obvodové schéma řídicího obvodu



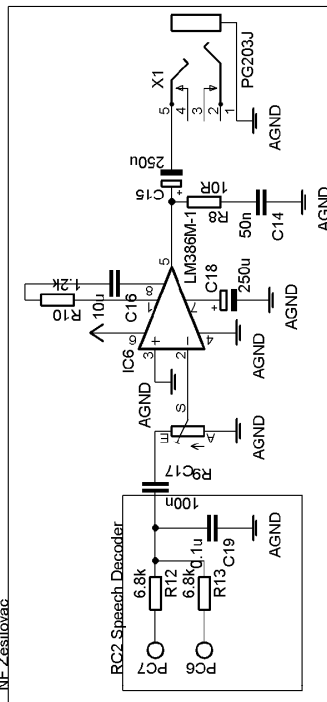
NAPÁJENÍ - stepup konvertor na 5 V



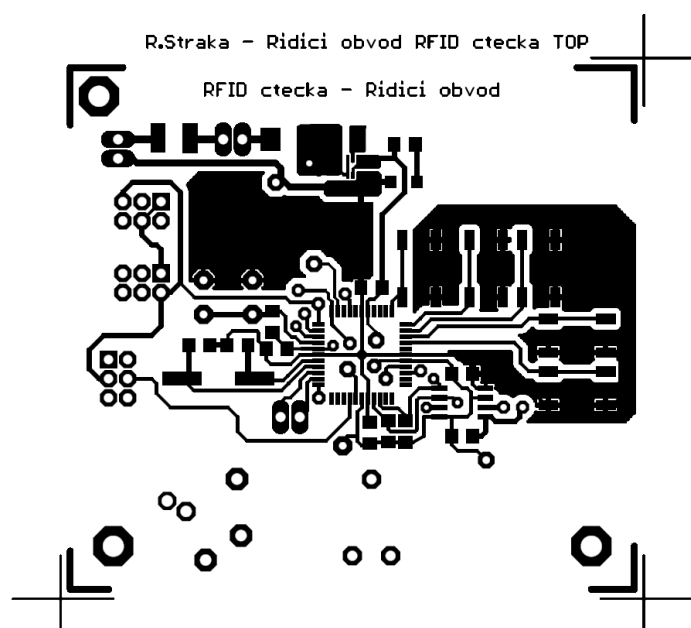
NAPÁJENÍ - stepup konvertor na 3.3 V



NF Zesilovac

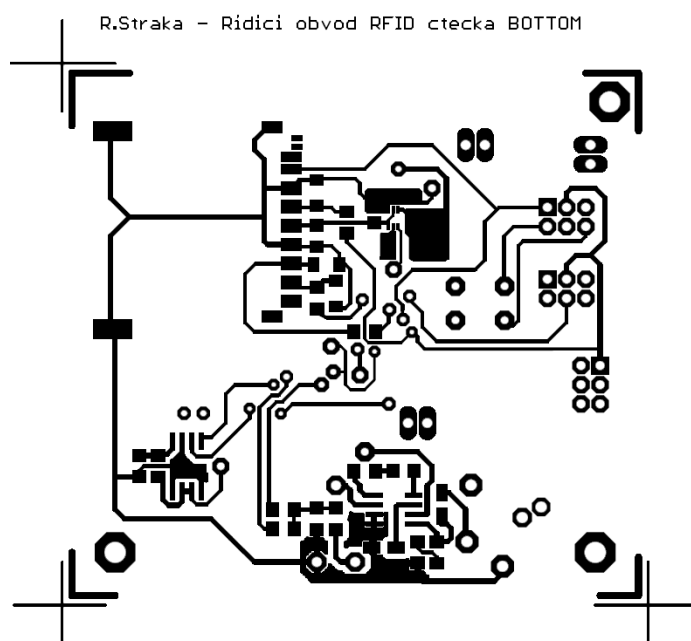


### A.13 Deska plošného spoje řídicího obvodu (strana součástek - top)



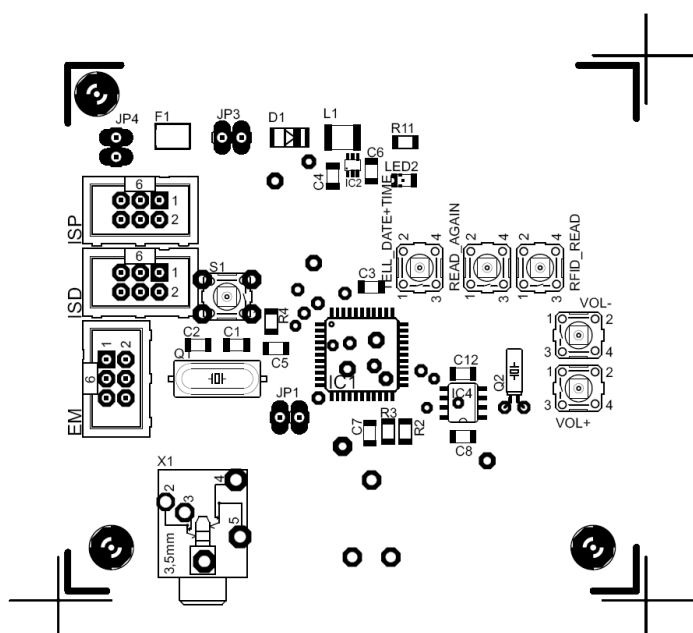
Rozměr desky 74 x 68 [mm], měřítko M1:1

### A.14 Deska plošného spoje řídicího obvodu (strana spojů - bottom)



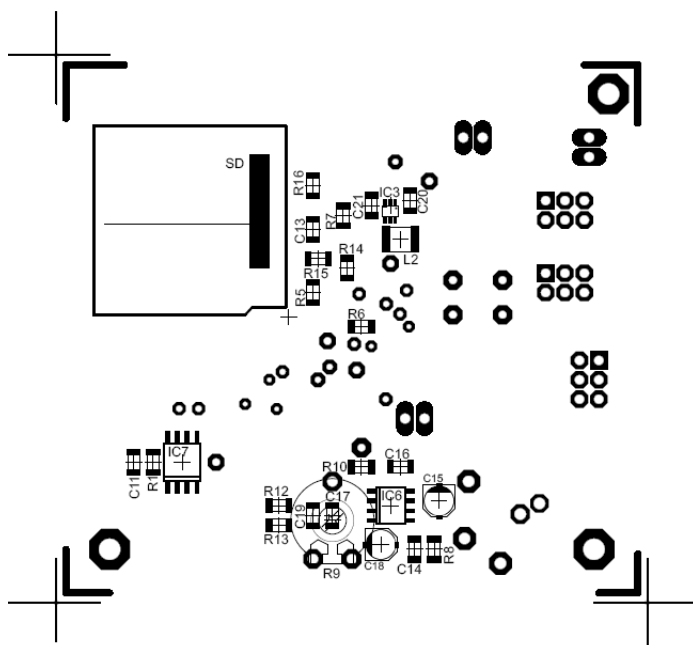
Rozměr desky 74 x 68 [mm], měřítko M1:1

## A.15 Osazovací schéma řídicího obvodu (strana součástek – top)



Rozměr desky 74 x 68 [mm], měřítko M1:1

## A.16 Osazovací schéma řídicího obvodu (strana spojů – bottom)

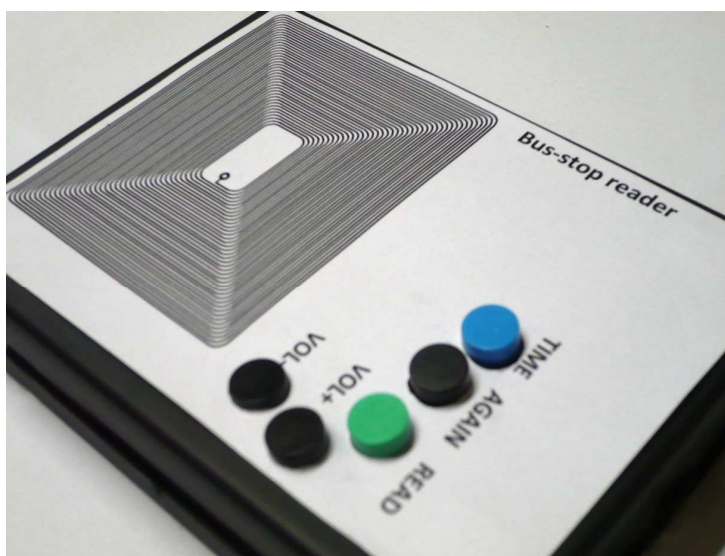


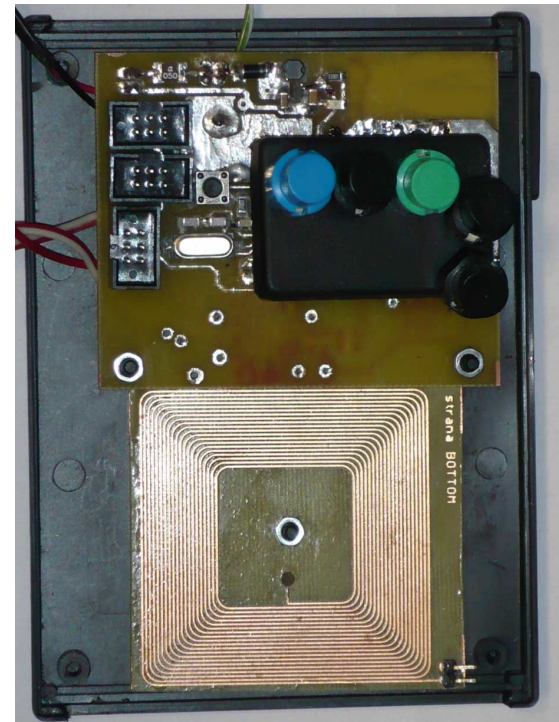
Rozměr desky 74 x 68 [mm], měřítko M1:1

## A.17 Seznam součástek řídicího obvodu

| Označení                                                   | Hodnota        | Pouzdro     | Popis                            |
|------------------------------------------------------------|----------------|-------------|----------------------------------|
| C1, C2                                                     | 22 pF          | C1206       | Keramický kondenzátor SMD        |
| C3, C5, C7, C11, C12, C13, C17, C19                        | 0.1 $\mu$ F    | C1206       | Keramický kondenzátor SMD        |
| C4, C6, C16, C20, C21                                      | 10 $\mu$ F     | C1206       | Keramický kondenzátor SMD        |
| C8                                                         | 33 nF          | C1206       | Keramický kondenzátor SMD        |
| C14                                                        | 50 nF          | C1206       | Keramický kondenzátor SMD        |
| C15, C18                                                   | 250 $\mu$ F    | C1206       | Keramický kondenzátor SMD        |
| D1                                                         | 1N4007         | MELF0207    | Usměrňovací dioda SMD            |
| R14, R15, R16                                              | 10 k $\Omega$  | 1206        | Rezistor SMD                     |
| F1                                                         | SMD050/15V     | PPTC1812    | Vratná SMD pojistka (polyswitch) |
| IC1                                                        | MEGA32-16AU    | TQFP44      | Mikrokontrolér AVR               |
| IC2                                                        | TPS61222       | SC70        | Měnič Texas Instruments          |
| IC3                                                        | TPS61221       | SC70        | Měnič Texas Instruments          |
| IC4                                                        | PCF8583        | SO08        | RTC obvod SMD                    |
| IC6                                                        | LM386M         | SO08        | NF zesilovač SMD                 |
| IC7                                                        | 24C1024        | SO08        | EEPROM paměť SMD                 |
| ISD, ISP, EM                                               | MLW06G         | MLW06G      | Konektor pro ploché kabely       |
| JP1, JP3, JP4                                              | PINHD-1X4      | pinhead     | Konektorový kolík                |
| L1, L2                                                     | 4,7 $\mu$ H    | L1812       | Tlumivka SMD                     |
| LED2                                                       | zelená         | 1206        | LED dioda SMD                    |
| Q1                                                         | 16 MHz         | SM49        | Krystal SMD                      |
| Q2                                                         | 38.769 kHz     | SM49        | Krystal                          |
| R1                                                         | 0 $\Omega$     | 1206        | Rezistor SMD                     |
| R2, R3, R4                                                 | 10 k $\Omega$  | 1206        | Rezistor SMD                     |
| R5, R6, R7                                                 | 5,1 k $\Omega$ | 1206        | Rezistor SMD                     |
| R8                                                         | 10 $\Omega$    | 1206        | Rezistor SMD                     |
| R9                                                         | 10 k $\Omega$  | LI10        | Trimr                            |
| R10                                                        | 1,2 k $\Omega$ | 1206        | Rezistor SMD                     |
| R11                                                        | 3,3 k $\Omega$ | 1206        | Rezistor SMD                     |
| R12, R13                                                   | 6,8 k $\Omega$ | 1206        | Rezistor SMD                     |
| S1                                                         | switch-omron   | B3F-10XX    | Mikrotlačítko                    |
| RFID_READ,<br>TELL_AGAIN,<br>TELL_DATE+TIME,<br>VOL+, VOL- | switch-omron   | B3F-10XX    | Mikrotlačítko                    |
| SD                                                         | SD-slot        | SD030       | Slot pro SD kartu                |
| X1                                                         | wealthmetal    | ST-214-C-06 | Konektor JACK                    |

## B FOTOGRAFIE ZAŘÍZENÍ





## C ZDROJOVÉ KÓDY

Zde je uvedena jen stěžejní hlavní část zdrojových kódů napsaných v jazyce C (pro kompilátor GCC). Kompletní zdrojové kódy lze nalézt na přiloženém CD.

### C.1 Hlavní smyčka řídicího programu (soubor SD\_main.c)

```
while(1){          //hlavní smyčka
if(bit_is_clear(PINA,3)){ //TIME

    if(rtc_setup() == 0){          //funkce pro nastavení RTC obvodu
        rtc_init();
        voice_init();
        cteni_z_rtc();    //získání aktuálního času "cas"
        prevod_na_adresu_PLAY(cas);/  /přehrátí času
    }//if
}//if

if(bit_is_clear(PINA,4)){ //READ_AGAIN

    //-----
    //-----SD CARD-----
    //-----
    init_devices();
    SD_init();
    SPI_HIGH_SPEED;
    _delay_ms(1);
    FAT32_active = 1;
    error = getBootSectorData (); //čtení boot sektoru karty

    if(error)
    {
        FAT32_active = 0;
        prevod_na_adresu_PLAY("ZASUNTESDKARTU");
    }
    //volání funkce čtení souboru z SD karty
    error = readFile( READ, fileName);
    ZAKLADNI_NASTAVENI_PORTU;
}//if

if(bit_is_clear(PINA,5)){ //RFID_READ
    //-----
    //-----RFID-----
    //-----
    unsigned char p=0;
    for(i=0; i<5; i++){
        rfid_data[i] = 0x00;    //smazání datového pole
    }
    preneseno = 0;
    //-----
    SPI_SlaveInit(); //inicializace RFID čtečky
    ReaderInit();
```

```

while(preneseno != 0xff){
    if(Dekodovani() == 0xff){preneseno = Kontrola_a_ulozeni();}
    else preneseno = 0;
    if(p==200) {go_sleep; break;}          //testovani 200x
    p++;
} //while
p=0;
if(preneseno == 0xff) {
    go_sleep;
    //-----
    //-----READ FILE (FAT32 DATA)-----
    //-----
    for(i=0; i<2; i++){
        asc1[i] = 0x00;
        asc2[i] = 0x00;
        asc3[i] = 0x00;
        asc4[i] = 0x00;
    }
    for(i=0; i<13; i++) fileName[i] = 0x00;
    for(i=0; i<13; i++) rfid_file[i] = 0x00;

    //-----SAVE RFID CODE TO ASCII (rfid_file[])-----
    sprintf(asc1,"%X",rfid_data[1]);
    sprintf(asc2,"%X",rfid_data[2]);
    sprintf(asc3,"%X",rfid_data[3]);
    sprintf(asc4,"%X",rfid_data[4]);

    for(i=0;i<2;i++) rfid_file[i]=asc1[i];
    for(i=0;i<2;i++) rfid_file[i+2]=asc2[i];
    for(i=0;i<2;i++) rfid_file[i+4]=asc3[i];
    for(i=0;i<2;i++) rfid_file[i+6]=asc4[i];
    rfid_file[8] = '.';
    rfid_file[9] = 'z';
    rfid_file[10] = 'm';
    rfid_file[11] = 0x00;

    //naplneni fileName jmenem souboru podle RFID kodu
    for(i=0; i<13; i++) fileName[i] = rfid_file[i];

    //-----
    //-----END RFID-----
    //-----
} //if preneseno //vyskoci a vycete soubor
preneseno = 0;

ZAKLADNI_NASTAVENI_PORTU;

//-----
//-----SD CARD-----
//-----
init_devices();
SD_init();

SPI_HIGH_SPEED;    //SCK - 4 MHz
_delay_ms(1);

FAT32_active = 1;
error = getBootSectorData (); //čtení boot sektoru karty

```

```

        if(error)
        {
            FAT32_active = 0;
            prevod_na_adresu_PLAY("ZASUNTESDKARTU");
        }
        //volání funkce čtení souboru z SD karty
        error = readFile( READ, fileName);
        ZAKLADNI_NASTAVENI_PORTU;

    }//if

    if(bit_is_clear(PINA,6)){ //VOL+
        voice_init();
        device();
        if(volp != 0) volp--;    //zvětšení zesílení výstupního zesilovače
        write_apc2(volp);
        _delay_ms(300);

        ZAKLADNI_NASTAVENI_PORTU;
    }

    if(bit_is_clear(PINA,7)){ //VOL-
        voice_init();
        device();
        if(volp != 7) volp++;    //snížení zesílení výstupního zesilovače
        write_apc2(volp);
        _delay_ms(300);

        ZAKLADNI_NASTAVENI_PORTU;
    }
} //while (1)

```