

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2009

Stanislav Dubec

Univerzita Pardubice

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Řídicí systém zahradní železnice

Autor práce: Stanislav Dubec

Vedoucí práce: Ing. Martin Hájek

Bakalářská práce

2009

University of Pardubice

Faculty of electrical engineering and informatics

The control system of the garden railway

Author: Stanislav Dubec

Supervisor: Ing. Martin Hájek

Bachelor work

2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Stanislav DUBEC**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Řídicí systém zahradní železnice**

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

Cílem práce je navrhnout systém pro bezdrátové řízení zahradní modelové železnice. Systém by měl umožnit následující: 1. Nezávislé ovládání jízdy až 10 lokomotiv najednou. 2. Každý ovladač musí být schopen řídit jakoukoli lokomotivu v systému. 3. Dosah ve volném terénu alespoň 20 m. Systém bude u lokomotivy schopen: 1. Řídit směr a rychlost jízdy podle nastavených akceleračních křivek. 2. V případě potřeby vozidlo okamžitě zastavit. 3. Spínat dva nezávislé výstupy pro ovládání přídatných funkcí. Vybrané části budou ověřeny praktickými zkouškami.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

Mikrokontroléry ATMEL AVR - popis procesoru a instrukční soubor,
BEN - technická literatura, Praha 2003

DCC Standards & Recommended Practices Index, dostupné online na
www.nmra.org/standards/DCC/standards_rps/DCCStds.html

Hanus, S.: Bezdrátové a mobilní komunikace, skripta, VUT Brno, 2003

Katalaog RF modulů firmy Aurel, dostupné online na

www.aurelwireless.com/rf-wireless-modules/rf-radio-modules.asp

ZigBee Specification, dostupné online na

www.zigbee.org/en/spec_download/download_request.asp

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Hájek
Katedra elektrotechniky

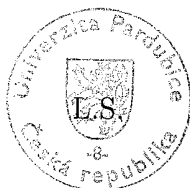
Datum zadání bakalářské práce: **15. ledna 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. května 2009**



doc. Ing. Simeon Karanazov, Dr.

děkan



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2009

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 15. 5. 2009

Stanislav Dubec

Poděkování:

Dovoluji si poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Hájkovi za odborné rady a připomínky, jež se v průběhu vypracování bakalářské práce vyskytly. Dále také Bc. Tomáši Hodrovi za informace týkající se dopravního sálu a modelové zahradní železnice a v neposlední řadě panu Šíldovi za zhotovení desek plošných spojů.

SOUHRN

Tato práce se zabývá rozбором problémů spojených s mobilní zahradní železnicí a výběrem možného řešení. Zahrnuje také vývoj a konstrukci dálkového ovládání a řídicí jednotky pro model zahradní železnice. V teoretické části je obecný návrh možného řešení a jsou v ní popsány technologie, které je možné využít pro přenos dat (příkazů). Praktická část se věnuje návrhu dálkového ovládání a řídicí jednotky. Dále popisuje konstrukci daných zařízení a jejich programové vybavení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zahradní železnice, bezdrátové technologie, IQRF, mikroprocesor, řídicí systém, dálkové ovládání.

TITLE

The control system of the garden railway

ABSTRACT

This work analyses a problems related with the mobile garden railway including possible solutions of this problem. It comprises development and construction of the remote control and the control unit for the model of the garden railway. Theoretic part of the work describes a general scheme of possible solutions and technologies that could be used for data transmission. Practical part describes design, construction and software of the remote control and control unit.

KEYWORDS

Garden railway, wireless technologies, IQRF, microprocessor, control system, remote control.

Obsah

Seznam zkratk

1. Úvod	13
2. Modelová zahradní železnice	14
2.1. Technické parametry modelu zahradní železnice.....	14
2.2. Stávající systém řízení zahradní železnice	15
3. Návrh koncepce systému	15
4. Rozvržení systému.....	17
5. Bezdrátové technologie	18
5.1. IQRF.....	18
5.1.1. Příslušenství.....	19
5.1.2. Typy sítí IQRF.....	20
5.2. ZigBee	22
5.2.1. Možnosti použití Zigbee.....	22
5.2.2. Typy sítí Zigbee.....	23
5.3. Bluetooth	23
5.3.1. Možnosti použití Bluetooth	24
5.3.2. Typy sítí Bluetooth	24
5.4. Wi-Fi.....	25
5.4.1. Možnosti použití Wi-Fi	25
5.4.2. Typy sítí WI-FI.....	26
5.5. Zhodnocení technologií a výběr	28
6. Konstrukce systému (ovládání a řídicí jednotka)	29
6.1. Modul dálkového ovladače.....	32
6.1.1. Návrh desek plošných spojů pro dálkové ovládání	33
6.1.2. Popis nejdůležitějších součástí dálkového ovládání	35
6.2. Modul řídicí jednotky modelu lokomotivy.....	37
6.2.1. Návrh desek plošných spojů pro řídicí jednotku	39
6.2.2. Popis nejdůležitějších součástí řídicí jednotky	40
7. Programové vybavení systému.....	42
7.1. Komunikační protokol.....	42
7.2. Logika ovládání	43
7.3. Vývojové prostředky	45

7.4.	Firmware.....	46
7.4.1.	Software pro modul IQRF.....	46
7.4.2.	Software pro mikroprocesor v ovladači	47
7.4.3.	Software pro mikroprocesor v řídicí jednotce	48
7.5.	Praktické testy	49
8.	Závěr.....	50

Použitá literatura

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Příloha 1 - Rozpis součástek pro dálkové ovládání

Příloha 2 - Rozpis součástek řídicí jednotky lokomotivy

Příloha 3 - Program pro IQRF modul

Příloha 4 – Program pro mikroprocesor v řídicí jednotce

Seznam zkratek

A2DP - Advanced Audio Distribution Profile

AVRCP - Audio/Video Remote Control Profile

BIP - Basic Imaging Profile

BPP - Basic Printing Profile

CMOS - Complementary Metal–Oxide–Semiconductor

DCC - Digital Command Control

DID - Device ID Profile

DMOS - Diffused Metal Oxid Semiconductor

DPS – Deska plošných spojů

DUN - Dial-up Networking Profile

FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum

FTP - File Transfer Profile

HFP - Hands-Free Profile

HID - Human Interface Device Profile

HSP - Headset Profile

IQRF – Intelligence Quotient Radio Frequency

ISM - Volná pásma pro Průmyslové (industrial), vědecké (scientific) a lékařské (medical) aplikace

ISP – In-System Programming – Programování v obvodu

JTAG - Joint Test Action Group

LAP - LAN Access Profile

LCD - Liquid crystal display - Displej z tekutých krystalů

LDO - Low-dropout – snížení pravděpodobnosti výpadku

LED - Light Emitting Diode - dioda vyzařující světlo

OPP - Object Push Profile

PAN - Personal Area Network

PBAP - Phone Book Access Profile

PWM – Pulse-Width Modulation – Pulzně-šířková modulace

RF – Radio Frequency - rozhlasový kmitočet

SAP - SIM Access Profile

SDP - Service Discovery Profile

SMD - Surface mount device - Součástky určené pro povrchovou montáž

SPI – Serial Peripheral Interface – Sériové rozhraní periférií

TR – Transceiver - kombinace přístroje (vysílače a přijímače)

VF – Vysoká frekvence

1. Úvod

Cílem bakalářské práce je navrhnout systém pro zahradní železnici, který bude schopen nahradit stávající řízení modelu. Systém byl navržen tak, aby bylo možno řídit až deset lokomotiv. Podmínky pro správný chod a účel systému jsou: možnost navolit daný model lokomotivy, jeho rychlost, směr jízdy a zapnutí, popř. vypnutí dvou přídatných funkcí. Dosah tohoto systému bude alespoň 20 m. Dále bude popsán konstrukční návrh celého systému.

Tento řídicí systém bude určen pro pardubický spolek historie železniční dopravy, který používá model zahradní železnice při nejrůznějších akcích a výstavách. Železnice není pevně sestavena a je potřeba ji při každé akci znovu sestavit. Nastávají při tom problémy, které je nutno řešit (volně rozložená kabeláž, složitá implementace datových signálů na signál napájecí aj.). Možnosti řešení těchto problémů jsou různé, závisí na použití moderních systémů.

V první části práce budou obsaženy technické parametry mobilní modelové zahradní železnice a systém, ve kterém pracuje její řízení. V další části budou rozebrány technologie vhodné pro uskutečnění komunikace mezi uživatelem a modelem, následně bude nastíněna architektura systému, návrh, konstrukce a v poslední části se bude zabývat programovým vybavením a testováním zařízení.

2. Modelová zahradní železnice

Pardubický spolek historie železniční dopravy (PSHZD) používá model zahradní železnice při nejrůznějších akcích a výstavách.

2.1. Technické parametry modelu zahradní železnice

Model zahradní železnice, který je využíván jako demonstrace skutečného železničního provozu, patří mezi modely poměrně velké. Základním měřítkem je 1:22,5, což je modelářská velikost II. Rozchod modelových kolejí je 45 mm, což odpovídá 1000 mm ve skutečnosti (úzkorozchodná kolej), jde tedy přesněji o velikost II_m. Rozměry lokomotiv použitých v systému jsou různé, protože některé lokomotivy jsou nakoupeny od firmy LGB, která nedávno zanikla a zbylé jsou od jiných firem nebo vlastnoručně vyrobeny. Jejich velikost se pohybuje okolo 35 cm. Prostor pro navržené moduly uvnitř lokomotiv je taktéž různý. Motorčky lokomotiv pracují s napájecím napětím v rozmezí od 15V do 24V a odebírají proud do 4A. Při zapojení více lokomotiv do provozu mohou nastat potíže s „nalezením“ vhodného napájecího zdroje. Na obrázku 1 je ukázka zahradní železnice.



Obrázek 1 - Model zahradní železnice¹

¹ <http://www.pshzd.cz/2008.html>

Tento model není „pevně“ sestaven, ale je rozebíratelný s možností přesunu na jakoukoli akci.

U klasických modelů, které jsou trvale vybudovány na „zahradě“, je kabeláž uložena v lištách nebo ve speciálně vytvořených místech pod kolejištěm. V našem případě je naopak veškerá kabeláž rozložena okolo kolejiště. Čím složitější kolejiště sestavujeme, tím více je náročné udržet kolejiště v přehledném stavu.

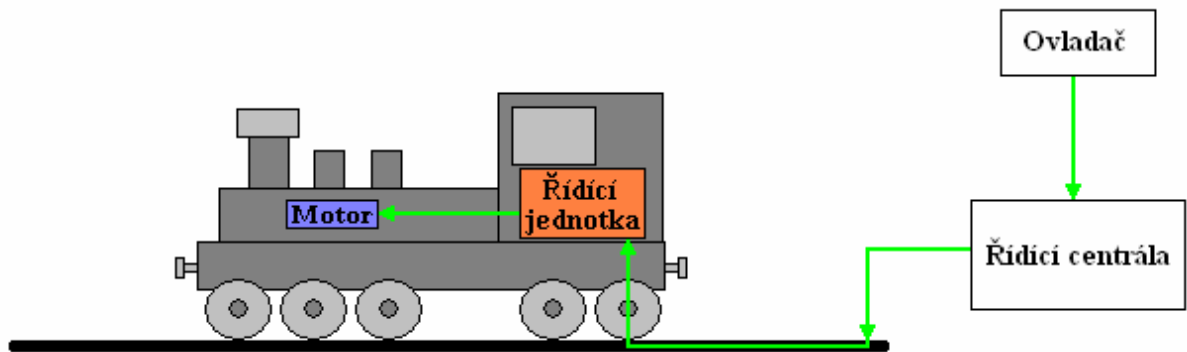
2.2. Stávající systém řízení zahradní železnice

Současný systém zahradní železnice je nejklasičtějším systémem vůbec (analogové řízení). V lokomotivách jsou zabudovány stejnosměrné motorčky. Rychlost jejich otáčení se řídí změnou napětí v kolejnici. Tento systém má mnoho výhod a nevýhod. Výhodou je např. jednoduchost a levnost, hlavní nevýhoda se projeví při provozu více lokomotiv najednou. Tím, že se napájení řeší přes koleje, musí být kolejiště rozděleno na několik samostatně izolovaných úseků, které se musí napájet zvlášť regulovatelným zdrojem stejnosměrného napětí.

3. Návrh koncepce systému

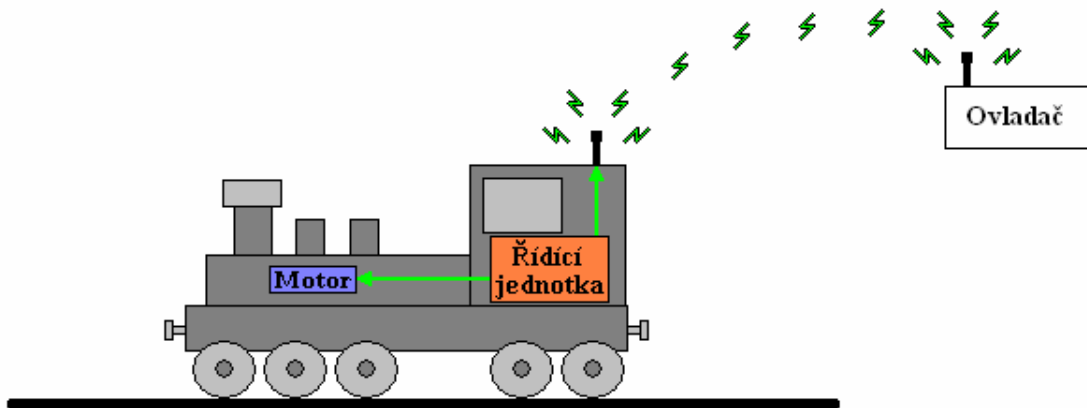
Systém se bude skládat z několika typů zařízení - ovládacích prvků určených pro interakci s obsluhou (ovladač), které budou nějakým způsobem předávat data (informace) do jedoucích lokomotiv (řídící jednotka). Každému modulu bude přiřazena unikátní adresa, kterou se bude prezentovat v dané síti, aby bylo možné zjistit „kdo s kým“ komunikuje.

Je mnoho způsobů, které jsou použitelné pro zadaný úkol. Budeme uvažovat o dvou možnostech. V obou uvažovaných případech bude napájení pro řídící jednotku zajišťovat kolejnice, po kterých se modul lokomotivy pohybuje. Zprvu je to možnost „drátová“, kde je možné použít přímo systém DCC a nebo postavit jeho kopii, která bude částečně kompatibilní, a vylepšit ji. Popř. ty části které by nevyhovovaly provozu zahradní železnice by byly nahrazeny jinými vyhovujícími (lokodekodér, výkonový zesilovač aj.). Data by se tedy posílala z ovladače přes řídící centrálu do kolejiště, následně do řídící jednotky lokomotivy a přes ní např. do motoru. Jednoduché schéma je na obrázku 2.



Obrázek 2 - Možnost cesty dat 1

Druhou možností je spojení bezdrátové (viz obr. 3), kdy ovladač posílá data „vzduchem“ k řídicí jednotce lokomotivy a ta dále např. do motoru.



Obrázek 3 - Možnost cesty dat 2

Tyto dva způsoby lze dále rozšířit nebo vylepšit. V prvním případě lze ovladač připojovat přímo na kolejiště nebo datový signál posílat přes speciální kabel v kolejišti. V druhém případě lze např. přistupovat ovladačem k lokomotivě přes jiný ovladač nebo centrální jednotku umístěnou na kolejišti, a tím zvýšit dosah daných zařízení. Způsobů je tedy mnoho.

Navrhnutý systém, bude schopen z ovladače odesílat příkazy do lokomotivy a následně je vykonat.

V prvním případě je nutné zamyslet se nad problémy spojené s tímto řešením. Jelikož je model stále přemísťován, je třeba co nejjednodušší montáž a demontáž s co nejmenším poškozením. Kvůli kabeláži celého kolejiště je velice obtížné tyto požadavky splnit. Kabely spojující všechny součásti kolejiště jsou nepraktické. Brání totiž v rychlém sestavení železnice. Další problém nastává v připojení ovladačů. Přibudou další kabely

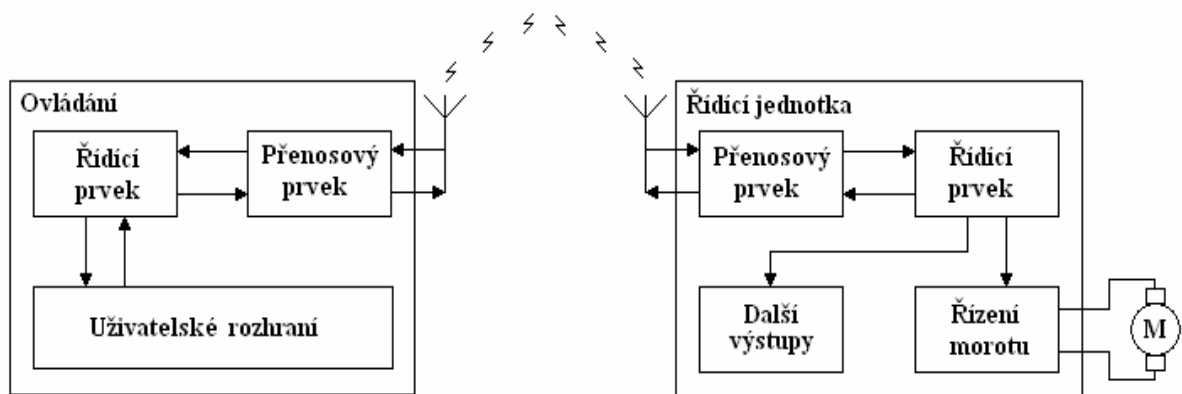
od ovladačů, které brání ve snadné manipulaci a zbytečně omezují uživatele ve vykonávání potřebné činnosti. Navíc mohou být připojeny pouze na určených místech a volnost uživatele je proto omezena délkou kabelu. Těchto systémů existuje již mnoho (např. Digital plus od firmy Lenz, systémy od firmy Roko aj.) a nebylo by tedy efektivní navrhovat další S přihlédnutím k problémům zmíněných výše bylo vybráno pro tuto práci řešení druhé, tedy bezdrátové ovládání.

Bude tedy nutné zvolit jednu z možných bezdrátových technologií (např. Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee, IQRF aj.). Bezdrátové technologie jsou schopny zajistit snadný přenos informace do ovladače, manipulace s ovladači je jednodušší (není kabelové spojení) a nevznikají potíže s poškozením kabelu. Odpadá také složité programování řídicího signálu na signál napájecí v kolejnici. Celkově se sníží veškerý čas věnovaný uvedení do provozu.

4. Rozvržení systému

Pro bezdrátové řízení bylo navrženo uspořádání dálkového ovladače tak, jak je na obr. 4 (vlevo). Dálkové ovládání se bude skládat z přenosového prvku (bezdrátový modul), řídicího prvku (mikroprocesor) a uživatelského rozhraní (LCD, klávesnice aj.)

Řídicí jednotka lokomotivy bude sloužit k řízení motoru a jiných funkcí a její uspořádání bude takové, jaké je na obr. 4 (vpravo). Stejně jako ovladač bude obsahovat přenosový prvek (bezdrátový modul) a řídicí prvek (mikroprocesor). Další její část bude řízení motoru (H-můstek) a poslední částí bude obsahovat další výstupy.



Obrázek 4 - Uspořádání částí systému

5. Bezdrátové technologie

Bezdrátové technologie nás dnes obklopují na každém kroku. Jsou používány více než dříve a staly se součástí nejrůznějších zařízení. Nejinak tomu je i v případě ovládání modelových železnic. Díky rozšíření a podstatnému zlevnění v posledním desetiletí je již drátové spojení v podstatě zastaralé a neúsporné.

Dříve převažoval bezdrátový přenos pomocí infračerveného světla, ale nevýhody, jako nízký dosah, rušení světlem, nutnost přímé viditelnosti a mnohdy větší spotřeba, než u rádiového přenosu dat, vedly k rozšíření technologií založených na přenosu informace pomocí rádiových vln. Všechny technologie vhodné pro systém bezdrátového řízení zahradního modelu železnice pracují ve volném frekvenčním pásmu, tzv. ISM. Povolení od Českého telekomunikačního úřadu tedy není nutné. Díky tomu je ale zřejmá možnost rušení. Na stejné frekvenci může vysílat kdokoli, a tím částečně nebo v extrémním případě zcela, „ochromit“ systém.

V dnešní době existuje celá řada bezdrátových technologií schopných splnit požadavky, které jsou kladeny na tento systém v zadání práce. V dalších kapitolách následuje přehled jen těch technologií, které jsou schopny vyhovět zadaným požadavkům.

5.1. IQRF

Platforma IQRF² pro bezdrátovou komunikaci byla vyvinutá společností MICRORISC s.r.o. z Jičína. Její využití je různorodé, např. pro telemetrii, automatizaci domů, bytů a pracovišť, průmysl, služby aj. Modul RF transceiveru je základním komunikačním prvkem ve formátu karty SIM. Z názvu „IQRF“ vyplývá, že se jedná o technologii „inteligentní“. Platforma IQRF je velice podobná ZigBee, ale její integrovaný řídicí mikrokontrolér (PIC) je vybaven operačním systémem. Veškeré potřebné funkce pro bezdrátovou komunikaci jsou již naprogramovány výrobcem. Spolu s dalšími vlastnostmi IQRF umožňuje velmi jednoduchou tvorbu aplikací i uživatelům, kteří mají jen minimální znalosti VF techniky, komunikací, procesorů, programování a téměř i elektroniky vůbec.

² <http://www.iqrf.org>

5.1.1. Příslušenství

Bezdrátová platforma IQRF je patentem firmy Microrisc. Kromě nezbytných komunikačních modulů nabízí i vývojové prostředky, příslušenství a aplikační podporu jako kompletní bezdrátové řešení. Jsou dodávány i tzv. brány pro zajištění kompatibility s ostatními komunikačními standardy jako například USB, ethernet, ZigBee aj. IQRF pracuje ve frekvenčním pásmu, které nevyžaduje licenci.



Obrázek 5 - Vývojová sada a příslušenství³

Pro USA jsou dostupné moduly operující na 916 MHz a pro Evropu je to 868 MHz. Nízká cena a nízká přenosová rychlost předurčuje tuto technologii pro aplikace s nízkými požadavky na přenos dat (telemetrie, dálková ovládání atd.). Podle typu komunikačního modulu se liší přenosová rychlost IQRF technologie, typ procesoru, počet integrovaných periférií a počet vstupů, nebo výstupů.

Každý komunikační modul obsahuje:

- Hybridní integrovaný obvod od firmy RF monolithics - podle požadované frekvence 868 nebo 916 MHz.
- Mikrokontrolér PIC s patentovaným operačním systémem.
- Napěťový regulátor s nízkým úbytkem napětí, který umožňuje napájení v rozmezí 3 – 5,5V.
- Teplotní senzor připojený na A/D vstup osazeného mikrokontroléru.
- Indikační LED.

V současné době jsou pro Evropu v nabídce firmy Microrisc 3 typy modulů – TR-868-11A, TR-868-21A a TR-868-31B.

³ <http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=dsxxx31&ot=devtools&ot2=developmentsets>

5.1.2. Typy sítí IQRF

Je definováno několik možností síťové topologie - Point-to-point, Point-to-multipoint, Star (Hvězda), Extended star (Rozšířená hvězda), Tree (Strom) a IQMESH⁴:

- Point-to-point (obr.6 - vlevo) - nejjednodušší spojení mezi dvěma uzly (nody) na stejné úrovni bez použití koordinátoru.
- Point-to-multipoint (obr.6 - vpravo) - jednoduché spojení mezi několika uzly na stejné úrovni bez použití koordinátoru (mají stejná práva ke komunikaci, ale také stejné povinnosti).



Obrázek 6 - Point-to-point (vlevo) a point-to-multipoint (vpravo)

- Star (obr.7 – vlevo) - Síť tohoto typu má jeden koordinátor a více koncových uzlů, které komunikují nejen s koordinátorem, ale i mezi sebou navzájem (pokud jsou v dosahu).
- Extended star (obr.7 - vpravo) - Síť tohoto typu umožňuje spojení uzlů s koordinátorem dokonce přes jeden nebo více dalších uzlů sítě (routery).



Obrázek 7 - Star (vlevo) a Extended star (vpravo)

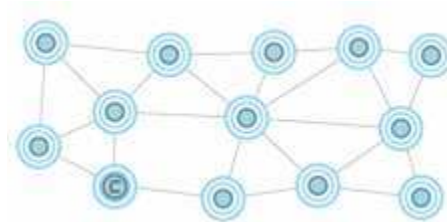
- Tree (obr.8) – Síť tohoto typu je topologií s hierarchickým uspořádáním. Centrální uzel první (nejvyšší) úrovně je spojen s několika uzly na druhé úrovni, z nichž každý může být dále spojen pouze se skupinou bodů v jeho vlastní části třetí úrovně atd.



Obrázek 8 - Tree

⁴ <http://iqr.org/weben/index.php?sekce=rfnetworks&id=rftopologies>

- IQMESH⁵ (Obr. 9) - nejkomplicovanější typ sítě. Skládá se z jednoho koordinátoru a několika uzlů. Všechny části spolu mohou komunikovat, ale nutně nemusí. Pokud není možná přímá komunikace (např. uzly nejsou navzájem v dosahu), přenos je uskutečněn přes jiné vybrané uzly (routery), které se nacházejí v dosahu. Tudíž RF signál „skáče“ přes jednotlivé vybrané body na místo určení. Tato metoda se nazývá „skáčící vzkaz“ (message hopping). Pokud mají oba koncové body minimálně dva (u routerů minimálně tři) body ve svém dosahu, každý „skok“ může být zrealizován dvěma různými způsoby, které vedou k dalším možnostem přeskočení na cestě k cíli. Tímto způsobem je možné navrhnout celou síť typu IQMESH. Takováto síť s nadbytečnou větví pro přenos je výkonnější a mnohem více spolehlivá. Kromě toho také dovoluje vytvoření alternativních cest dokonce i v případě selhání routeru, tzv. samooprava (self-healing).



Obrázek 9 - IQMESH

Jednotlivé topologie jsou ve většině případů navzájem sestupně kompatibilní:

- Point-to-point je vlastně sítí typu Hvězda s jedním koncovým zařízením.
- Hvězda pak odpovídá jedné větví dvouúrovňové sítě typu Tree.
- MESH pokrývá všechny výše zmíněné síťové typologie.

Díky tomu mohou být všechny typy IQRF topologií založeny na IQMESH specifikaci. Čili všechny výhody IQMESH (clustery, routery, atd.) jsou pak dostupné i pro všechny ostatní topologie s koordinátorem. V IQRF systému je jediným základním rozdílem mezi IQMESH a nižšími topologiemi „zbytečná“ složitost (což je spíše otázkou konstrukce a parametrů než topologie).

⁵ <http://iqrf.org/weben/index.php?sekce=rfnetworks&id=rftologies>

5.2. ZigBee

ZigBee⁶ je bezdrátová komunikační technologie vystavěná na standardu IEEE 802.15.4. Zigbee je poměrně novým standardem platným od listopadu 2004. Podobně jako Bluetooth je určena pro spojení nízkovýkonových zařízení v sítích PAN na malé vzdálenosti do 75 metrů. Díky použití multiskokového ad-hoc směrování umožňuje komunikaci i na větší vzdálenosti bez přímé radiové viditelnosti jednotlivých zařízení. Primární určení směřuje do aplikací v průmyslu a senzorových sítích.

5.2.1. Možnosti použití Zigbee

Zigbee technologie je velmi perspektivní a lze ji uplatnit například v těchto oborech: monitorování zařízení, dálkové ovládání, diagnostika zařízení, řízení budov, spotřební elektrotechnika, vzdálené čtení měřených hodnot, počítačové periferie apod.

ZigBee využívá fyzickou a linkovou vrstvu. Jsou pro něj definována tři rádiová pásma, a to pásmo ISM 2,4 GHz (16 kanálů, přenosová rychlost 250kb/s) globálně, ISM 915 MHz (10 kanálů, přenosová rychlost 40kb/s) pro Ameriku a Austrálii a 868 MHz (1 kanál, přenosová rychlost 20 kb/s) pro Evropu.

Území	Evropa	Amerika a Austrálie	Celosvětově
Frekvence	868 MHz	916 MHz	2,4 GHz
Počet kanálů	1	10	16
Přenosová rychlost	20 kb/s	40 kb/s	250 kb/s

Tabulka 1 - Přehled rádiových pásem ZigBee

Díky různorodosti předpokládaných aplikací standard definuje tři základní režimy přenosu dat :

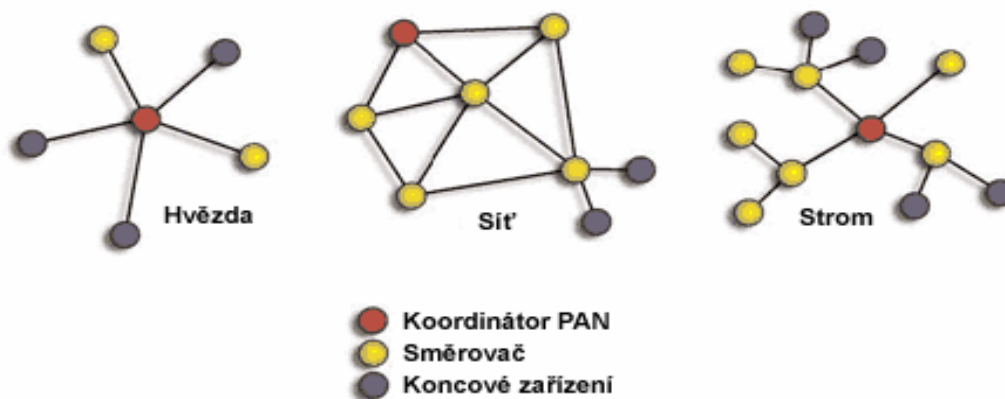
- periodicky se opakující (přenos dat z čidel),
- nepravidelné přenosy (externí události, např. stisknutí tlačítka uživatelem),
- opakující se přenosy u nichž je požadavek na malé zpoždění (bezdrátové počítačové periferie – klávesnice a myši).

Zigbee se vyznačuje těmito vlastnostmi: jednoduchost, způsobilost k vytváření statické síťové struktury, příznivá cena, nízká spotřeba energie a spolehlivost. Hlavní výhodou ZigBee je bezpečnost a zabezpečení integrity dat. Jako komunikační rozhraní využívá ZigBee většinou SPI.

⁶ <http://cs.wikipedia.org/wiki/ZigBee>

5.2.2. Typy sítí Zigbee

Jsou definovány tři různé síťové topologie (obr.10)- hvězdicová, stromová a síťová topologie.



Obrázek 10 - Typy sítí technologie ZigBee

Nadnárodní firmy a korporace, mezi něž patří například Motorola, Samsung, Philips, Freescale Semiconductor, Mitsubishi Electric, Invensys, Honeywell, jsou součástí konsorcia firem ZigBee Alliance, které vyvíjí tuto bezdrátovou komunikaci. Zavedeným komunikačním standardům, jako je třeba Bluetooth, nemá Zigbee přímo konkurovat, ale naopak rozšířit jejich možnosti využití.

5.3. Bluetooth

Jako málokterá jiná se technologie Bluetooth⁷ stala velice oblíbenou. Stále zůstává nejrozšířenější technologií používanou pro bezdrátový přenos dat na krátké vzdálenosti i přes rozvíjející se konkurenci.

Bezdrátová komunikační technologie Bluetooth je otevřená specifikace a je definována standardem IEEE 802.15.1, spadá do kategorie osobních počítačových sítí, tzv. PAN. Je celosvětově kompatibilní, neboť všude na světě pracuje v jednom frekvenčním pásmu 2,4 GHz (stejném jako u Wi-Fi). K přenosu využívá metody FHSS, kdy během jedné sekundy je provedeno 1600 skoků (přeladění) mezi 79 frekvencemi s rozestupem 1 MHz. Tento mechanismus má zvýšit odolnost spojení vůči rušení na stejné frekvenci.

⁷http://mobil.idnes.cz/bluetooth-tajemstvi-zbavene-jak-funguji-profilu-fb0-/svet-mobilu.asp?c=A080222_182731_svet-mobilu_onp

5.3.1. Možnosti použití Bluetooth

Bluetooth slouží k propojení mobilních zařízení na malou vzdálenost - běžně do desítek metrů. V současné době umožňují sítě dosahu až do sta metrů. Jsou to propojení například mezi stolními a přenosnými počítači, kapesními počítači, osobními digitálními asistenty, mobilními telefony, bezdrátových handsfree, tiskárnami, digitálními fotoaparáty, náhlavními soupravami, klávesnicemi i počítačovými myšmi aj. V praxi se bluetooth používá např. pro přenos obrázků až po poslech hudby nebo pro připojení k internetu.

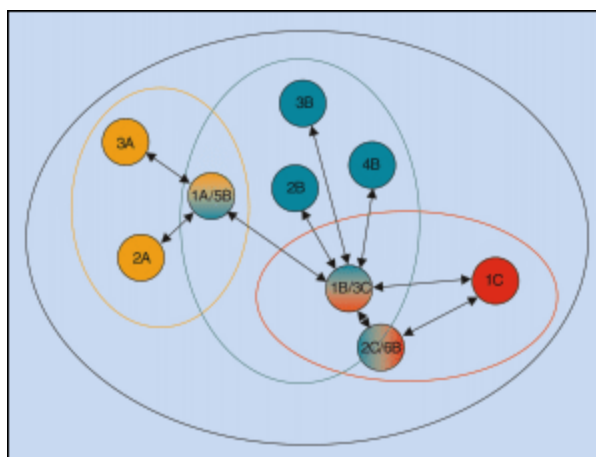
Pro každou činnost je využíván jiný tzv. bluetooth profil. Jedná se o soubor instrukcí, pomocí nichž mohou dvě zařízení vybavená „modrým zubem“ komunikovat. Profilů existuje celá řada a ne všechny se vyskytují ve všech zařízeních. Například hudbu ve stereo sluchátkách si vychutnáte jen tehdy, podporuje-li vysílací zařízení profil A2DP. Proto je zde uvedeno několik nejpoužívanějších profilů. Jsou to A2DP, AVRCP, BIP, BPP, DID, DUN, FTP, HFP, HID, HSP, LAP, OPP, PBAP, SAP, SDP, SPP, SYNCH, VDP.

5.3.2. Typy sítí Bluetooth

Standard Bluetooth⁸ umožňuje vytvářet tzv. pikosítě (piconet). V jedné síti mohou být minimálně dva přístroje (např. mobilní telefon a notebook), což představuje vlastně spojení od bodu k bodu. Pikosíť je možné kdykoli zvětšit a zmenšit, a vytvářet tak rychle se měnící sítě (ad hoc), které se po každém zapnutí znovu samostatně konfigurují. Obvykle je pikosíť tvořena osmi stanicemi, z nichž jedna je nadřazená (master) a ostatní jsou podřízené (slave). Až deset pikosítí tvoří scatternet (rozložená síť), v níž mohou vzájemně komunikovat všichni účastníci.

Rozsáhlejší pikosíť obsahuje až 255 účastníků, přičemž v jednom okamžiku může být aktivních osm přístrojů. Pro zvýšení počtu aktivních přístrojů Bluetooth jsou nasazovány přístupové body BAP, kterými lze vybudovat další pikosítě, které se mohou i překrývat (a to i v okruhu 10 m). Přístupové body mohou spojit systém Bluetooth se stávajícími lokálními sítěmi LAN, a tvoří tak jejich bezdrátové zakončení směrem k uživateli. V místnostech mohou být umístěny jak na stropě, tak i ve zdi (podobně jako elektrické zásuvky). Pro vybavení například celé budovy technikou Bluetooth je zapotřebí několika BAP, spojených obvykle sítí Ethernet.

⁸ <http://www.automatizace.cz/article.php?a=639>



Obrázek 11 - Topologie sítě Bluetooth

Na obrázku 11 jsou tři buňky piconet: A,B,C, které navzájem tvoří jednu síť scatternet. Nadřazené jednotky jsou označeny číslicí 1. Například zařízení 1A/5B je současně nadřazená jednotka buňky A a pátá podřazená jednotka buňky B9.

5.4. Wi-Fi

Bezdrátové sítě označované zkratkou Wi-Fi (nadsazený název Wireless identity - „bezdrátová věrnost“) dle normy 802.11a/b/g jsou ve vývoji telekomunikací jen dalším logickým stupněm. Wi-fi je standard pro lokální bezdrátové sítě (Wireless LAN, WLAN). Pracuje také ve volném ISM pásmu, ale dosah a vysílací výkony jsou vyšší než u Bluetooth. V dnešní době se pro fyzickou přenosovou vrstvu Wi-Fi sítí nejčastěji používá elektromagnetické rádiové vlnění ve frekvencích 2,4 GHz a někdy i 5-6 GHz. Její integrací do mobilní platformy Centrino společnosti Intel bylo pomalé počáteční rozšiřování Wi-Fi technologie výrazně urychleno. Nejen díky ní se tak Wi-Fi stala standardní součástí mobilních počítačů a i některých mobilních telefonů. Současné široké rozšíření Wi-Fi technologie však přináší i své negativní důsledky ve formě silného zarušení příslušného frekvenčního spektra a častých bezpečnostních incidentů. Částečným pokračováním Wi-Fi je bezdrátová technologie WiMAX, která by měla sloužit především k poskytování bezdrátového připojení k síti Internet v rámci rozsáhlých městských lokalit.

5.4.1. Možnosti použití Wi-Fi

Wi-fi je stejně jako Bluetooth primárně určená pro oblast spotřební elektroniky (měřicí technika aj.) a také v celé škále průmyslových odvětví. Nejen díky své univerzálnosti,

⁹ http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33560

ale také dobré možnosti zabezpečení a stále klesající ceně. Zajišťování vzájemného bezdrátového propojení přenosných zařízení bylo původním cílem Wi-Fi sítí. Dále také jejich připojování na lokální (např. firemní) síť LAN. S postupem času však začal být silný potenciál této technologie využíván i k bezdrátovému připojení do sítě Internet v rámci rozsáhlejších lokalit a tzv. hotspotů. Oproti Bluetooth, který slouží hlavně pro bezdrátové připojení periférií, slouží technologie Wi-Fi k budování bezdrátových počítačových sítí.

Standard	Pásmo [GHz]	Maximální rychlost [Mbit/s]	Fyzická vrstva
původní IEEE 802.11	2,4	2	DSSS
IEEE 802.11a	5	54	OFDM
IEEE 802.11b	2,4	11	DSSS
IEEE 802.11g	2,4	54	OFDM
IEEE 802.11n zatím není standardizován	2,4 nebo 5	600*	OFDM, MIMO

Tabulka 2 - Přehled standardů IEEE 802.11¹⁰

Různé standardy definují i různé modulace signálů, od toho se odvíjí hodnoty teoretických přenosových rychlostí. Nejvíce rozšířený standard IEEE 802.11g používá modulaci OFDM a je zpětně kompatibilní se starším a pomalejším standardem IEEE 802.11b modulovaný pomocí DSSS. Standardy *b* a *g* jsou zpětně kompatibilní. Za cenu snížení přenosové rychlosti mohou fungovat i v horších podmínkách nebo na delší vzdálenosti, a to díky změně modulace.

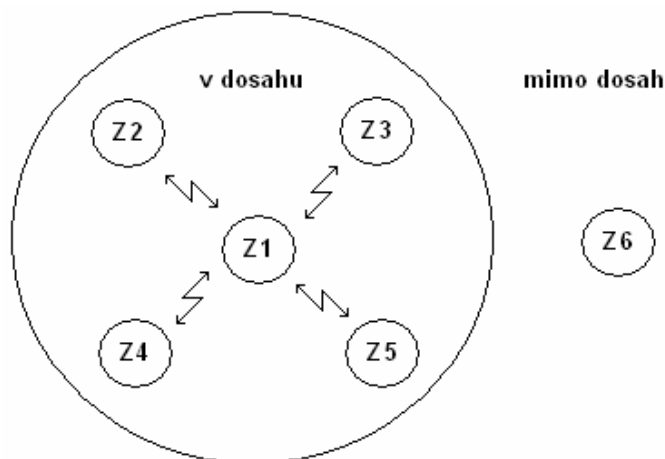
5.4.2. Typy sítí WI-FI

Bezdrátová síť může být vybudována různými způsoby v závislosti na požadované funkci. Ve všech případech hraje klíčovou roli identifikátor SSID (Service Set Identifier), což je řetězec až 32 ASCII znaků, kterými se jednotlivé sítě rozlišují. SSID identifikátor je v pravidelných intervalech vysílán jako broadcast, takže všichni potenciální klienti si mohou snadno zobrazit dostupné bezdrátové sítě, ke kterým je možné se připojit (tzv. asociovat se s přístupovým bodem). Nejjednodušším způsobem, jak bezdrátovou síť skrýt, je tedy zamezit vysílání SSID. Připojující se klient pak musí SSID předem znát, jinak se nedokáže k druhé straně připojit. Protože je však SSID při připojování klienta přenášeno v čitelné podobě, lze ho snadno zachytit a skrytou síť odhalit.

¹⁰ http://cs.wikipedia.org/wiki/Wi-fi#cite_note-0

Ad-hoc síť¹¹

V ad-hoc síti se navzájem spojují dvě zařízení, kteří jsou v rovnocenné pozici (peer-to-peer). Může být připojeno i více zařízení než jen dvě, ale stejně jakou u dvou zařízení musí komunikovat v přímém RF dosahu a to každý s každým. Nelze uskutečnit přenos pomocí jiných zařízení.



Obrázek 12 - Topologie Ad-hoc

Na obrázku 12 je názorně nakresleno zařízení Z1, které má v dosahu pro RF signál zařízení Z2, Z3, Z4, Z5 a mimo dosah Z6. Z1 a Z6 nelze propojit přes Z3 ani Z5.

Infrastrukturní síť

Typická infrastrukturní bezdrátová síť obsahuje jeden nebo více přístupových bodů (AP – Access Point), které vysílají své SSID. Klient si podle názvů sítí vybere, ke které se připojí. Několik přístupových bodů může mít stejný SSID identifikátor a je plně záležitostí klienta, ke kterému se připojí (může se například přepojovat v závislosti na síle signálu). Přístupové body (AP) v počítačové síti vystupují v několika různých rolích (viz níže), které jsou dány nejen požadavky na strukturu sítě, ale i schopnostmi těchto zařízení. I když jsou schopnosti bezdrátových zařízení snadno rozšiřitelné pomocí změny softwarového vybavení, většina výrobců ji neumožňuje. Naopak stejně hardwarově vybavená zařízení se mohou cenově několikanásobně lišit jen díky zpřístupnění jednoduchého softwarového doplňku.

¹¹ http://cs.wikipedia.org/wiki/Wi-fi#cite_note-0

- **Bridge**
 - bezdrátová síť je součástí zbytku sítě
 - bridge odděluje síťový provoz, ale propouští broadcast
 - není nutné konfigurovat
- **router**
 - bezdrátová síť je samostatnou podsítí
 - routery vyžaduje konfiguraci IP adresy a směrování

Pokud je v bezdrátovém zařízení (AP) zabudována bezdrátová část dvakrát, označuje se jako point-to-multipoint, protože dokáže bezdrátový signál přijímat a zároveň ho distribuovat dalším bezdrátovým klientům. Takto jsou například konstruovány bezdrátové přípojné body poskytovatelů internetového připojení (providerů), kteří však někdy kvůli ceně používají dvě samostatná zařízení. Specifickým typem jsou WDS sítě (Wireless Distribution System), kdy všechny přístupové body vysílají na stejném kanálu, navzájem spolu komunikují a jeví se tak klientům jako jedna síť. Výhodou je, že jen jedno AP musí být připojeno k mateřské síti a jednotlivá AP nemusí mít dvě samostatné bezdrátové části, jako u point-to-multipoint. Nevýhodou je pak snižování propustnosti sítě v závislosti na počtu skoků, než se signál přes jednotlivá AP dostane do mateřské sítě, protože veškerý provoz se šíří po celé bezdrátové síti na stejném kanálu.

5.5. Zhodnocení technologií a výběr

Výhodou technologie Bluetooth je relativně velká podpora budování sítí a také nízká cena. Její šifrování je řešeno samostatnou technologií. Nevýhodné je, že síť může obsahovat pouze osm uzlů. Je velmi rozšířená a tudíž je zde vyšší riziko rušení. Výhodou technologie Wi-fi je vysoká úroveň zabezpečení, velký dosah a dobrá podpora vytváření sítí. Nevýhodou je vysoká cena a velké rozšíření (vyšší riziko rušení). Výhodou technologie ZigBee je nízká cena, nízká spotřeba energie, spolehlivý přenos dat (zabezpečení v Mac vrstvě) a dobrá podpora vytváření sítí. Obtížná dostupnost pro kusové zboží a složitější implementace je nevýhodou.

Oproti těmto technologiím je IQRF novinkou. Rozšíření není velké, což by se mohlo zdát jako nevýhoda (dostupnost zařízení atd.). Opak je ale pravdou. Kusová zařízení jsou snadno dostupná s relativně nízkou cenou. Díky nižšímu rozšíření je menší pravděpodobnost kolizí ve vysílání s podobnými systémy. Dosah zařízení záleží na počtu modulů pro přenos („hops“ efekt – přenos dat od startu k cíli se uskutečňuje mezi kterýmikoliv zařízeními v dosahu). Moduly této technologie mají vlastní zjednodušený operační systém. Další

výhodou je velmi nízká spotřeba. Tvorba sítí je také velmi dobrá. Proto bude navržený systém „vystavěn“ na technologii IQRF.

6. Konstrukce systému (ovládání a řídicí jednotka)

Jako základ systému tedy bude sloužit technologie IQRF, která existuje v podobě různých modulů. Pro bezdrátový přenos dat byl vybrán IQRF modul TR-868-21A, který je následně podrobněji popsán .

Modul TR-xxx-21A

TR-xxx-21A je modul operující na frekvenci 868 nebo 916 MHz, které jsou licencovány pro ISM (volná pásma pro průmysl, vědu a medicínu). Tento modul neobsahuje externí komponenty. Mikrokontrolér se zabudovaným operačním systémem, LDO regulátorem a teplotním čidlem výrazně redukuje čas rozvoje aplikace. Velice nízká spotřeba TR-xxx-21A předurčuje tyto moduly pro bateriově poháněné aplikace.



Obrázek 13 - Modul TR-868-21A¹²

Modul lze použít pro následující aplikace:

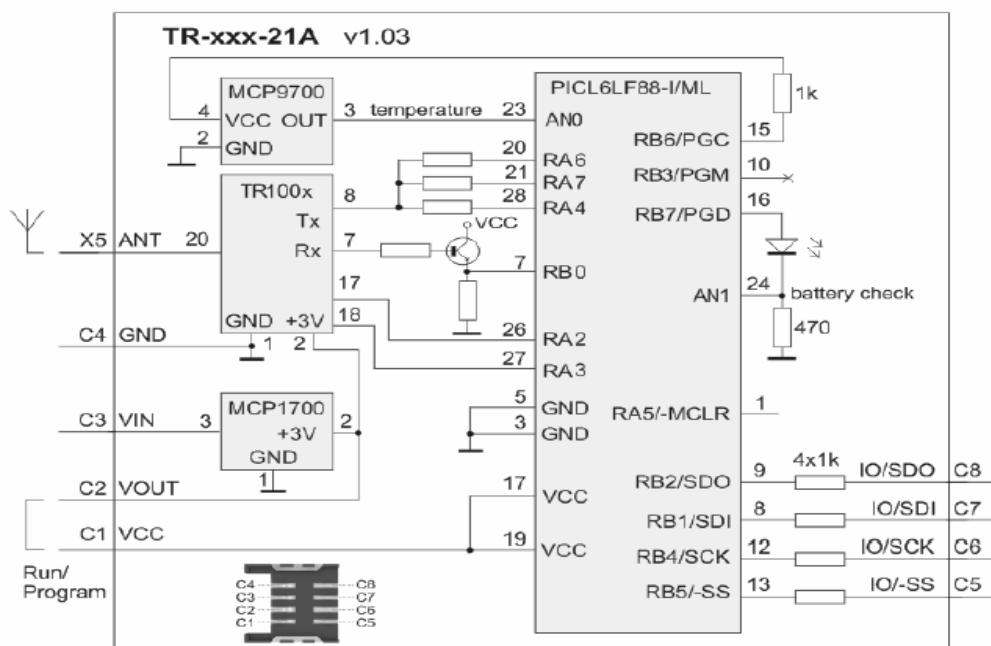
- dálková měření a ovládání
- signalizace a domácí automatizace,
- bezdrátová kontrola a regulace,
- řízení přístupu,
- přenosové spoje.

Modul má tyto charakteristické vlastnosti:

- kompletní řešení s operačním systémem,
- nízká cena,

¹² <http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=transceivers>

- extra nízká spotřeba energie,
- teplotní čidlo přímo integrováno na desce,
- monitorování stavu baterie.



Obrázek 14 - Zjednodušené schéma TR-xxx-21A¹³

Popis jednotlivých vstupů a výstupů ve schématu:

- X5 (ANT) pin pro anténu
- C1 (VCC) napájecí napětí (max. +3 V)
- C2 (VOUT) výstup z integrovaného LDO regulátoru (+3 V)
- C3 (VIN) napájecí napětí větší než 3 V
- C4 (GND) uzemnění
- C5 (IO/-SS) RB5 hlavní I/O pin (SPI zakázáno)
SS SPI „Slave select input“ (SPI povoleno)
- C6 (IO/SCK) RB4 hlavní I/O pin (SPI zakázáno)
SCK SPI hodinový výstup (SPI povoleno)
- C7 (IO/SDI) RB1 hlavní IO pin (SPI zakázáno)
SDI SPI vstupní data (SPI povoleno)
- C8 (IO/SDO) RB2 hlavní IO pin (SPI zakázáno)
SDO SPI výstupní data (SPI povoleno)

¹³ <http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=trxxx21a&ot=transceivers&ot2=trinditypes>

Elektrická specifikace:

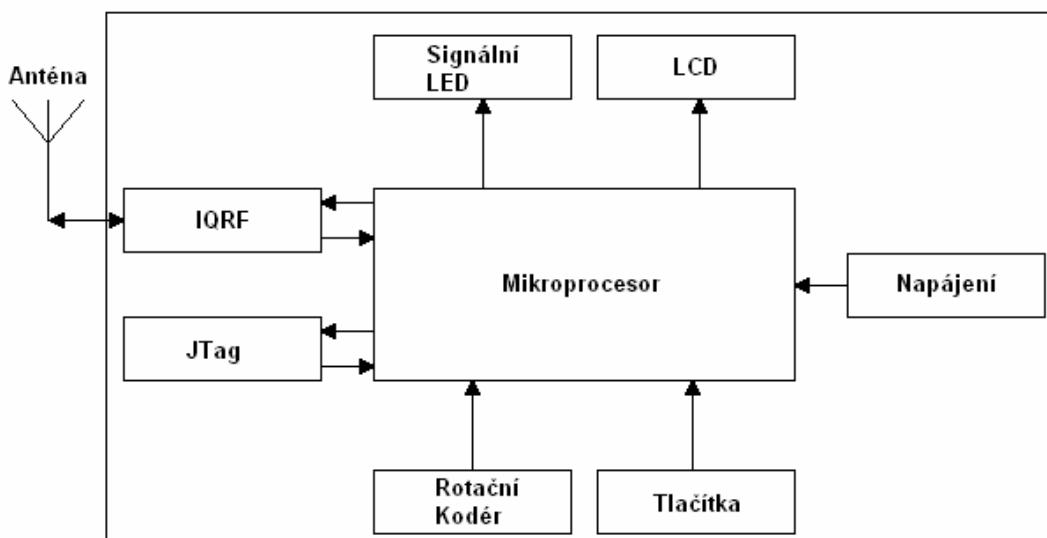
- Napájecí napětí 3,0V až 5,3V
- Provozní teplota 0 až +70 °C
- Rychlost přenosu dat 20 kb/s
- Výstup z LDO +3 V, 100 mA max.
- Napájecí proud v Rx modu 4 mA
- Napájecí proud v Tx modu do 12,4 mA
- Dodatečný napájecí proud při zapnuté LED 2 mA
- Rx/Tx přepínací čas 12 us
- Tx/Rx přepínací čas menší než 1 076 us
- Citlivost - 101 dBm
- Celková velikost modulu (d x š x v) 25,0 mm x 14,9 mm x 3,0 mm

Modul se vyrábí v několika provedeních, které se liší pouze kmitočtem a opravdovým rozložením I/O pinů (TR-868-21A, TR-868-21AK, TR-868-21AKG, TR-916-21A, TR-916-21AK).

Dálkový ovladač i řídicí jednotka pro lokomotivu budou navrženy na samostatných DPS (jednostranných). Návrhy DPS a schéma zapojení byla vytvořena a laděna v programu EAGLE 5.3.0. Tato verze je demoverzí originálního programu a lze ji bezplatně stáhnout. Jediným problémem je omezení počtu součástek a velikost DPS. V tomto případě tato demoverze bohatě postačovala.

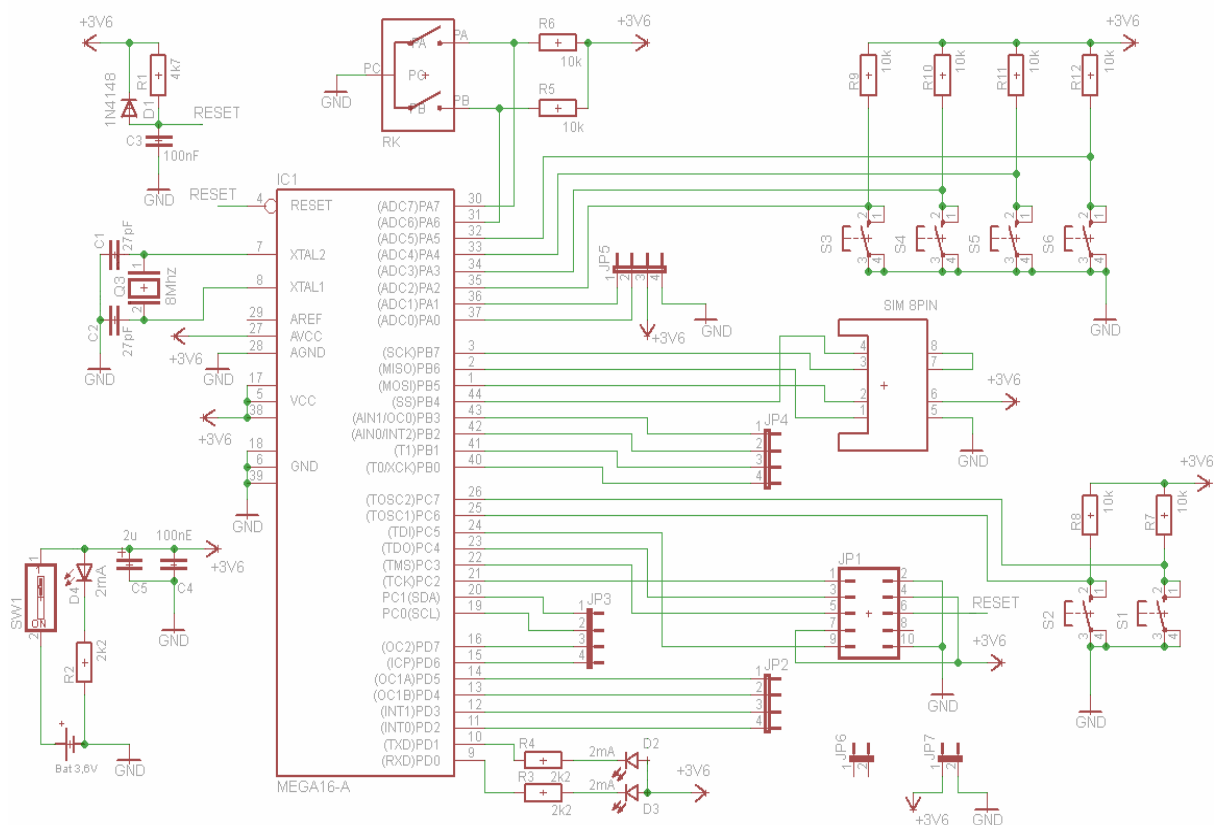
6.1. Modul dálkového ovladače

Návrh tohoto dálkového ovládání musí umět komunikovat s okolím pomocí technologie IQRF. Blokové schéma je na obrázku 15.



Obrázek 15 - Blokové schéma dálkového ovládání

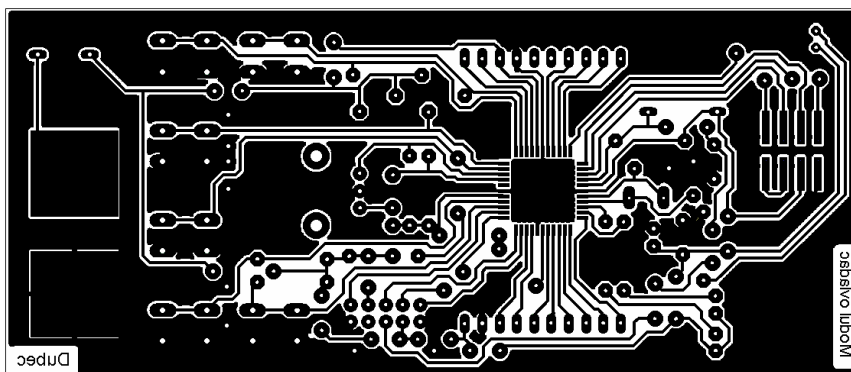
Základním prvkem dálkového ovladače je mikroprocesor ATmega 16L. Ten je řízen ovládacími periferiemi ovladače. K němu jsou připojeny ostatní části obvodu. Komunikace ovladače s modely lokomotiv a ostatními moduly je zajištěna pomocí IQRF technologie, a to v našem případě díky modulu TR-xxx-21A, který je připojen k anténě a zároveň sériovou linkou k mikroprocesoru. Pro zlepšení přehlednosti je ovladač vybaven LCD segmentovým displejem, který zobrazí buď číslo, nebo rychlost právě vybraného modelu lokomotivy, a signálními LED, zobrazujícími aktivní funkce této lokomotivy. Dále obsahuje šest tlačítek která slouží ke spuštění výběru čísla mašinky i její rychlosti, STOP tlačítko a výběr přídatných funkcí. Také je vybaven rotačním kodérem pro výběr modelu lokomotivy a velikosti její rychlosti. Pro naprogramování a doladování mikroprocesoru slouží konektor 2x5 jumper s rozhraním JTAG. V případě nutnosti lze programovat a doladovat i přes 8-pinový Sim konektor pro modul IQRF, ale to jen s programátorem ISP a se speciálně navrženou DPS pro spojení mezi Sim a ISP. Jako napájení je použit akumulátor 3,6V/1,2Ah. Na obrázku 16 je zobrazeno schéma zapojení dálkového ovladače.



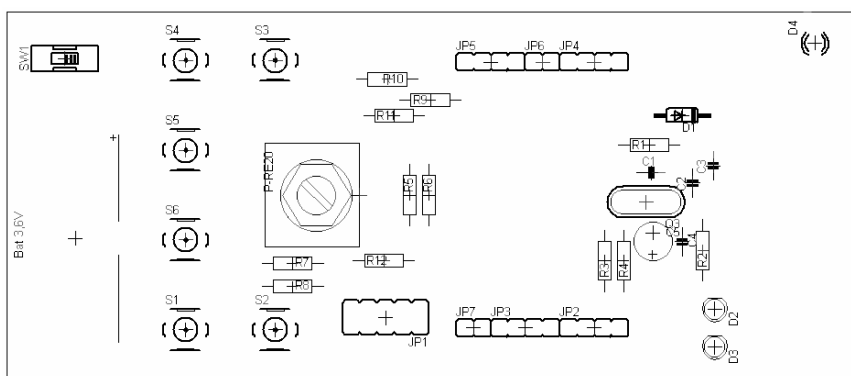
Obrázek 16 - Schéma zapojení dálkového ovládání

6.1.1. Návrh desek plošných spojů pro dálkové ovládání

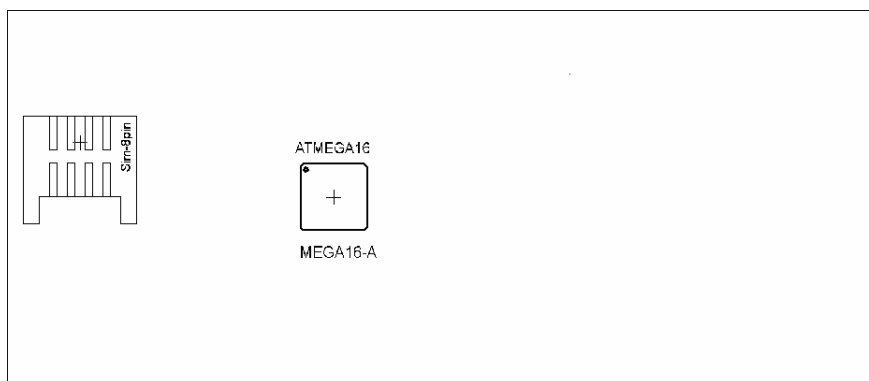
Pro dálkové ovládání byla navržena jednostranná DPS s několika propojkami na straně součástek. Navržená DPS má rozměry 125mm × 55mm. Na straně spojů je umístěn mikroprocesor ATmega 16L (v SMD provedení pro povrchovou montáž), 8-pinový Sim konektor a upevňovací svorky pro akumulátor. Ostatní součástky mají vývodové provedení a jsou osazeny na straně součástek. Rozpis součástek je v příloze 1. Na obrázku 17 je vyobrazen plošný spoj. Na obrázku 18 a 19 je znázorněno rozmístění součástek z jednotlivých stran.



Obrázek 17 - Plošný spoj dálkového ovládání



Obrázek 18 - Rozmístění součástek dálkového ovládání ze strany součástek



Obrázek 19 - Rozmístění součástek dálkového ovládání ze strany spojů

6.1.2. Popis nejdůležitějších součástí dálkového ovládní

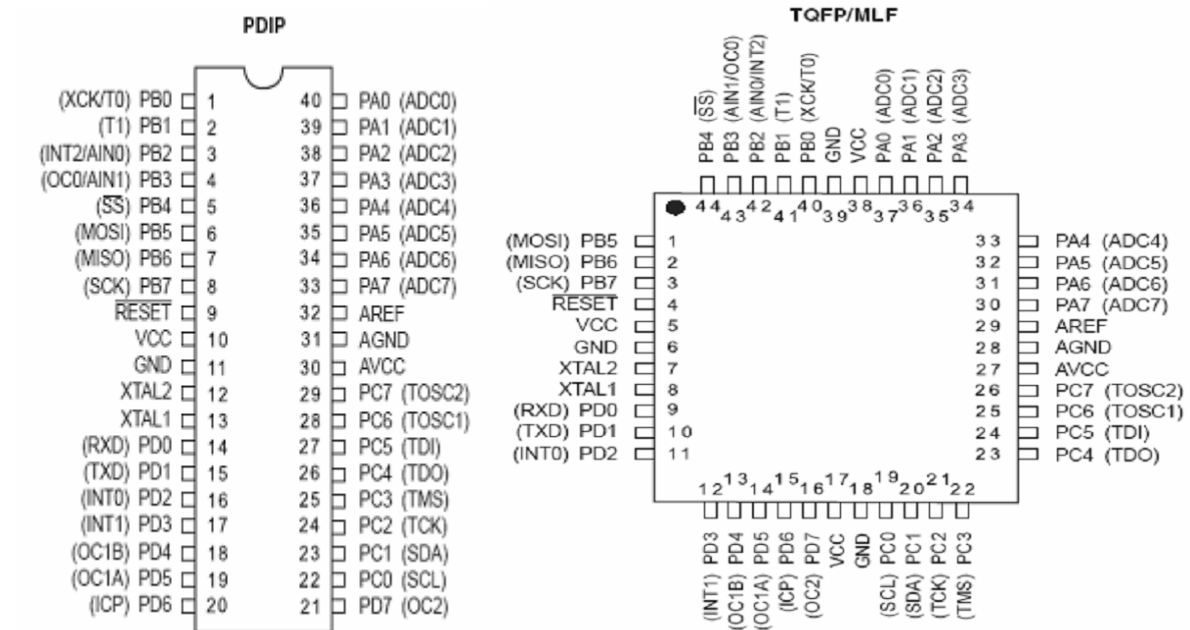
Mikroprocesor ATmega 16L

Nízkopříkonový osmibitový mikrokontrolér ATmega 16L je založen na rozšířené architektuře AVR RISC. Dosahuje 1 MIPS na 1 MHz díky tomu, že provádí v jediném hodinovém cyklu výkonné instrukce.

Základní vlastnosti mikrokontroléru ATmega 16L¹⁴:

- instrukční soubor obsahuje 131 instrukcí,
- 32 registrů délky 8 bitů,
- čtyři 8bitové vstupně/výstupní porty (celkem tedy 32 vstupů/výstupů),
- hodinový kmitočet 0 až 16 MHz, maximální výpočetní výkon až 16 MIPS,
- paměť programu je tvořena zabudovanou Flash, kapacita je 16 KB, počet přeprogramování je 1000 cyklů,
- datová paměť RAM kapacity 1 KB,
- datová paměť E²PROM kapacity 512 B, počet přeprogramování je 100 000 cyklů,
- Flash a E²PROM jsou programovatelné přímo v systému pomocí rozhraní SPI nebo JTAG,
- dva 8bitové čítač/časovače, jeden 16bitový (dokonalejší) čítač/časovač,
- čtyři PWM kanály,
- analogový komparátor, 10bitový A/D převodník,
- jednotky USART, SPI, TWI (podpora I²C)
- jednotky WDT, Power-on reset,
- zabudovaný RC oscilátor, externí oscilátor 0-16MHz,
- pouzdra DIP 40, TQFR 44,
- napájecí napětí 2,7 – 5,5V.

¹⁴ MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry : ATMEL AVR ATmega16, 4. díl, s.18.*

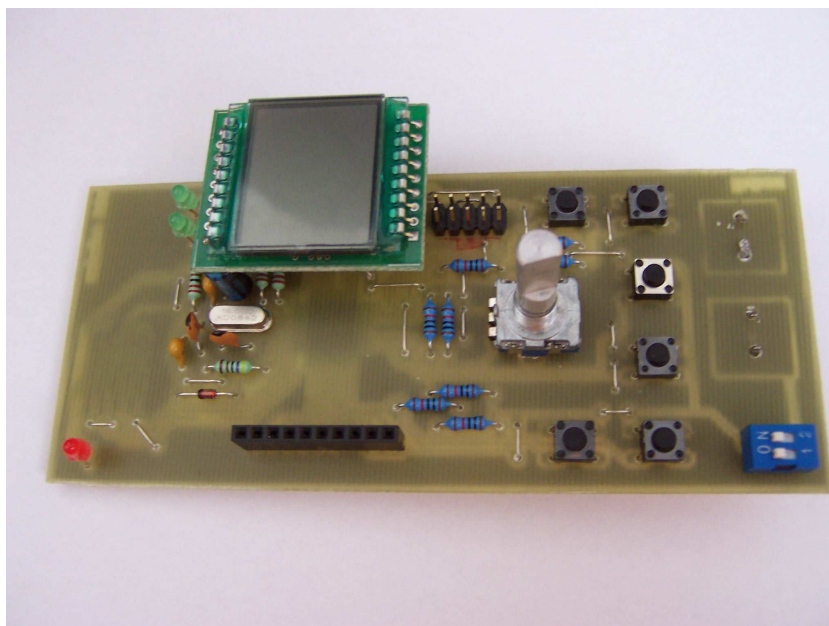


Obrázek 20 - Rozložení vývodů ATmega 16 (pouzdro DIP 40 a TQFP 44)¹⁵

Pin RESET slouží pro připojení resetovacího obvodu. Piny GND se uzemní. Rušení pronikající z digitální části se potlačí oddělenou zemí AGND. Piny XTAL1 a XTAL2 slouží pro spojení s krystalem. Všechny čtyři vstupně/výstupní porty označeny jako PA, PB, PC, PD jsou osmibitové. Čtyři piny portu PB (PB4, PB5, PB6, PB7) slouží pro SPI a čtyři piny portu PC (PC2, PC3, PC4, PC5) jsou použity pro programovací rozhraní JTAG. VCC a AVCC jsou piny sloužící pro připojení napájecího napětí. Zbylé piny portů PB, PC a celé porty PA, PD lze použít pro připojení jakýchkoliv ovládacích a zobrazovacích periférií (tlačítek, LED diod, LCD displeje atd.).

¹⁵ <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/78532/ATMEL/ATmega16.html>>.

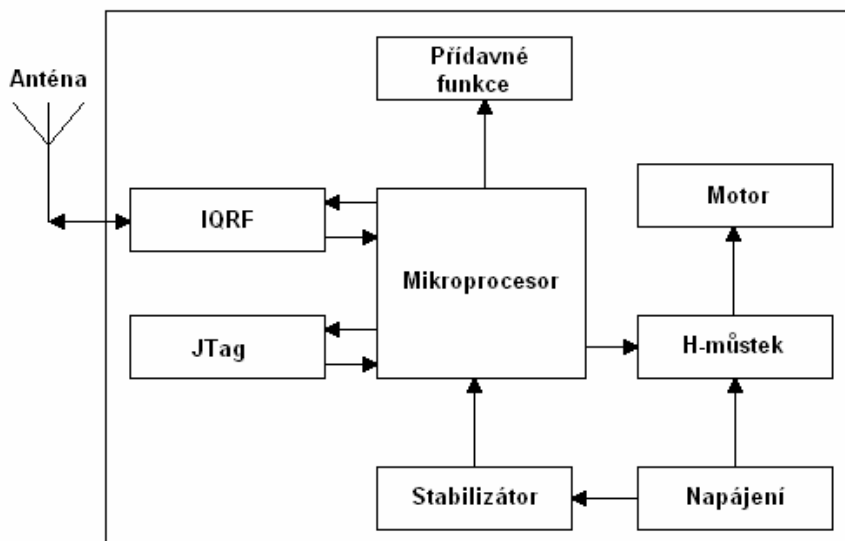
Pro lepší představu je na obrázku 21 fotografie hotového modulu dálkového ovládání.



Obrázek 21 - Reálný modul dálkového ovládání

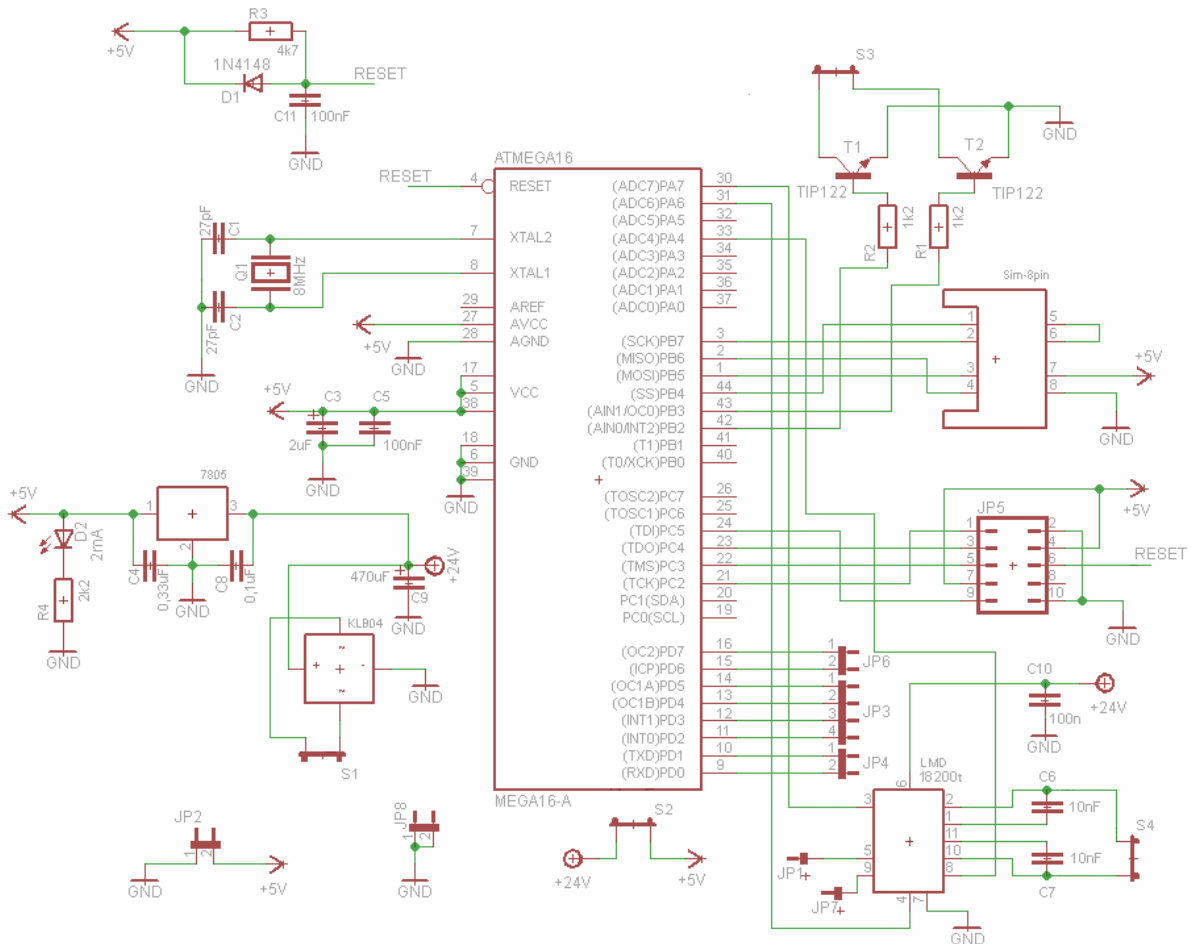
6.2. Modul řídicí jednotky modelu lokomotivy

Řídicí jednotka přijímá data (příkazy) z dálkového ovládání, zpracuje je a odešle buď na H-můstek příkaz k činnosti, který spustí motorek v daném směru nebo ho úplně zastaví, nebo přídatným funkcím. Blokové schéma je na obrázku 22



Obrázek 22 - Blokové schéma řídicí jednotky

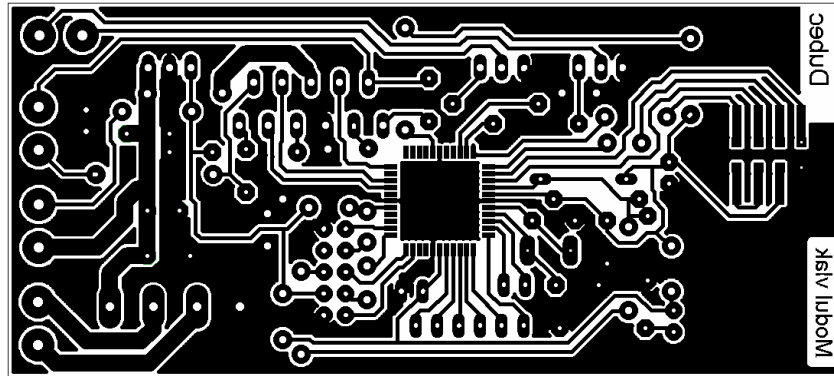
Základním prvkem modulu řídicí jednotky je mikroprocesor ATmega 16. Ten je řízen veškerými příkazy, které přijme od modulu dálkového ovládání. Jako v případě modulu ovladače je i v tomto případě použit IQRF modul TR-xxx-21A. Řídicí jednotka je, taktéž jako dálkový ovladač, vybavena konektorem 2x5 jumper s rozhraním JTAG pro programování a doladování. Pokud z modulu ovladače přijde příkaz pro spuštění přídatných funkcí, projeví se aktivita těchto funkcí na výstupních tranzistorech řídicí jednotky. Jelikož mikroprocesor není stavěn na takové napětí, jaké je na kolejnicích (24V), je zde použit stabilizátor 7805, který sníží napájecí napětí na 5V. H-můstek s napětím 24V pracovat může, proto je přímo připojen na napájecí svorkovnici. Stejnsměrný motorek modulu lokomotivy je ovládán přes integrovaný H-můstek (LMD 18200t). Pomocí PWM regulace z mikroprocesoru se zajišťuje fyzické řízení daného motorku. LMD 18200t bude dále popsán v kapitole 6.2.2. Na obrázku 23 je zobrazeno schéma zapojení řídicí jednotky.



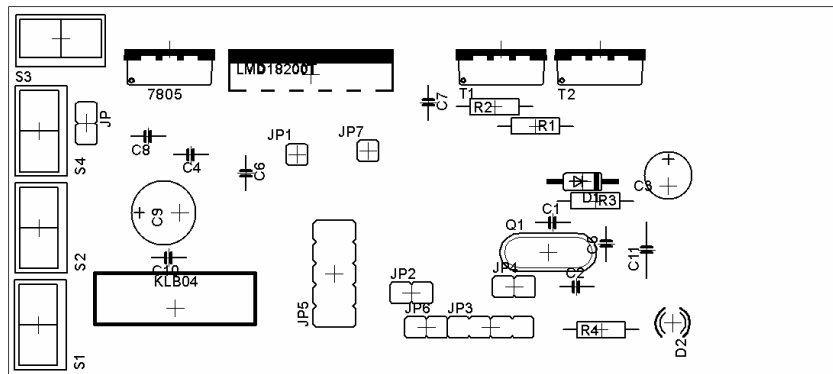
Obrázek 23 - Schéma zapojení řídicí jednotky

6.2.1. Návrh desek plošných spojů pro řídicí jednotku

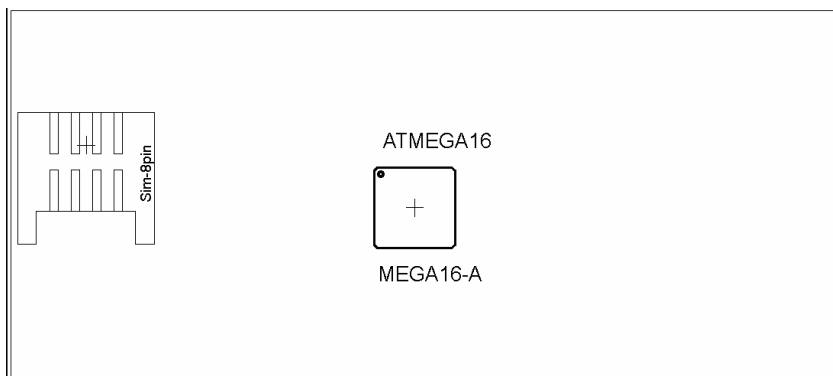
Tato DPS je také jednostranná a má rozměry 100mm × 45mm. Na straně spojů je umístěn pouze mikroprocesor ATmega 16 (v SMD provedení pro povrchovou montáž) a 8-pinový sim konektor. Rozpis součástek je v příloze 2. Na obrázku 24 je vyobrazen plošný spoj. Na obrázku 25 a 26 je znázorněno rozmístění součástek z jednotlivých stran.



Obrázek 24 - Plošný spoj řídicí jednotky



Obrázek 25 - Rozmístění součástek řídicí jednotky ze strany součástek



Obrázek 26 - Rozmístění součástek řídicí jednotky ze strany spojů

6.2.2. Popis nejdůležitějších součástí řídicí jednotky

Mikroprocesor ATmega 16

Mikroprocesor ATmega 16 je totožný s ATmega 16L a je popsán v kapitole 6.1.2. Liší se pouze ve velikosti napájecího napětí a použitelným externím oscilátorem. ATmega 16 je navržen pro napájecí napětí 4,5 – 5,5V a oscilátor lze použít od 0-8MHz.

LMD18200¹⁶

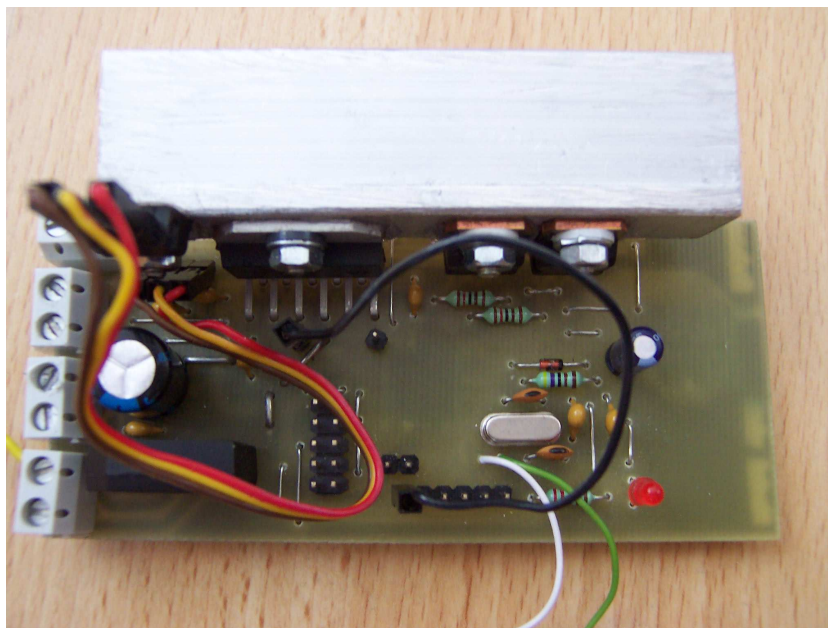
3A H-můstek typu LMD18200 pracuje do napětí 55V, jeho maximální proud při 200ms může být až 6A. Je vyroben pro kontrolu chodu a provozu zařízení. Tato integrovaná součástka je sestavena za použití multi-technologického procesu, který kombinuje bipolární a CMOS obvody s napájecím DMOS tranzistorem.

Základní vlastnosti:

- plynule dodává proud až do 3A,
- pracuje s napájecím napětím od +12 do +55V,
- ztrátový výkon 25W,
- ztrátový výkon (při 25°C a chlazeno volně ve vzduchu) 3W,
- vypnutí výstupů až při 170°C,
- pracovní teplota –40 až +150°C,
- vnitřní záchytné diody,
- TTL a CMOS kompatibilní vstupy,
- nehrozí proudové proražení,
- výstup pro teplotní kontrolu.

¹⁶ <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/9136/NSC/LMD18200T.html>

Pro lepší představu je na obr.28 fotografie hotového modulu řídicí jednotky lokomotiv.



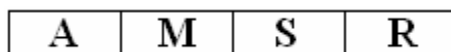
Obrázek 28 - Reálný modul řídicí jednotky

7. Programové vybavení systému

Programové vybavení se bude skládat ze několika částí. Jednak bude třeba napsat program pro modul IQRF (TR-868-21A) a jednak bude třeba sepsat program pro samotné mikroprocesory(ATmega16 a 16L). Jednotlivé moduly budou mezi sebou komunikovat pomocí několika komunikačních protokolů, které jsou popsány níže.

7.1. Komunikační protokol

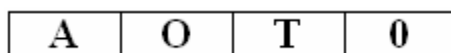
Komunikační protokol obsahuje několik typů paketů. První dva jsou ovladačem odesílány do řídicí jednotky pro lokomotivu. Obsahují následující části: adresový bajt, příkazový bajt a dva datové bajty. Na obrázku 29 je struktura paketu pro ovládání motoru.



Obrázek 29 - Struktura paketu pro ovládání motoru

Paket pro ovládání motoru lokomotivy se skládá z jednoho bajtu adresy lokomotivy (A), která může nabývat hodnot 01, 02, 03, atd. až do hodnoty 10. Dále obsahuje jeden bajt, ze kterého jde určit, zda jde o příkaz pro motor (M). Ve třetím bajtu (S) je směr otáčení (popř. zastavení) nabývajících hodnot 0 (stop), 1 (vpřed), 2 (vzad), a poslední bajt je velikost rychlosti (R) nabývajících hodnot 0, 1, 2 až 10.

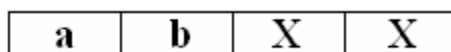
Na obrázku 30 je struktura paketu pro ovládání tranzistorů.



Obrázek 30 - Struktura paketu pro přídavné funkce

Paket pro ovládání přídavných funkcí (tranzistorů) lokomotivy je složen z jednoho bajtu adresy lokomotivy (A), která může nabývat hodnot 01, 02, 03, atd. až do hodnoty 10. Dále obsahuje jeden bajt, ze kterého jde určit, zda jde o příkaz pro tranzistory (O). Jeden bajt je aktivace funkcí (T), který může nabývat hodnot 1 (první funkce), 2 (druhá funkce) a jednoho doplňujícího (např. nulového) bajtu.

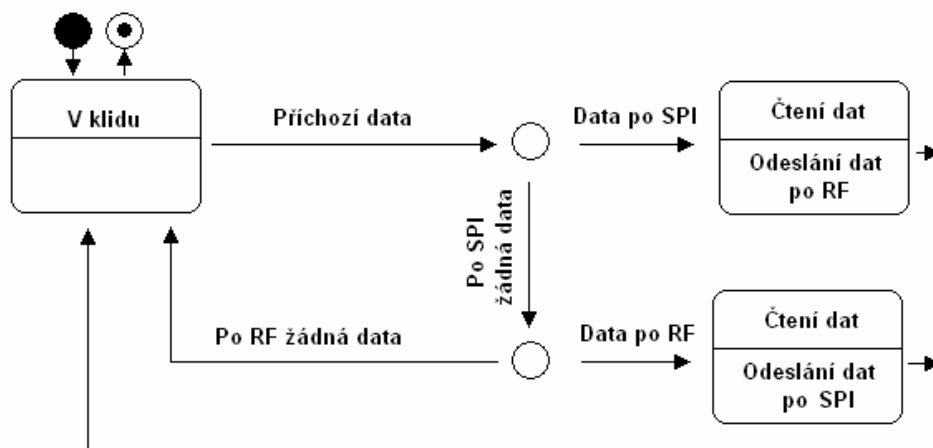
Každému modulu řídicí jednotky je napevno přiřazena adresa, která lze nastavit pouze v samotném programu. Po nahrání programu již nelze změnit (jedině přehráním programu). Adresa je při párování s ovladačem posílána ve tvaru: abXX. Písmena a, b jsou pouze kontrolní a jsou nastavena napevno v programu. Mají zajistit jedinečnost od ostatních nechtěných kombinací. Je velmi malá pravděpodobnost výskytu těchto dvou po sobě jdoucích písmen, a proto bylo zabezpečení náhodných kombinací shledáno dostačujícím. Není velkým problémem zvýšit počet kontrolních bitů. Na obrázku 31 je struktura paketu adresy.



Obrázek 31 - Struktura paketu adresy

7.2. Logika ovládání

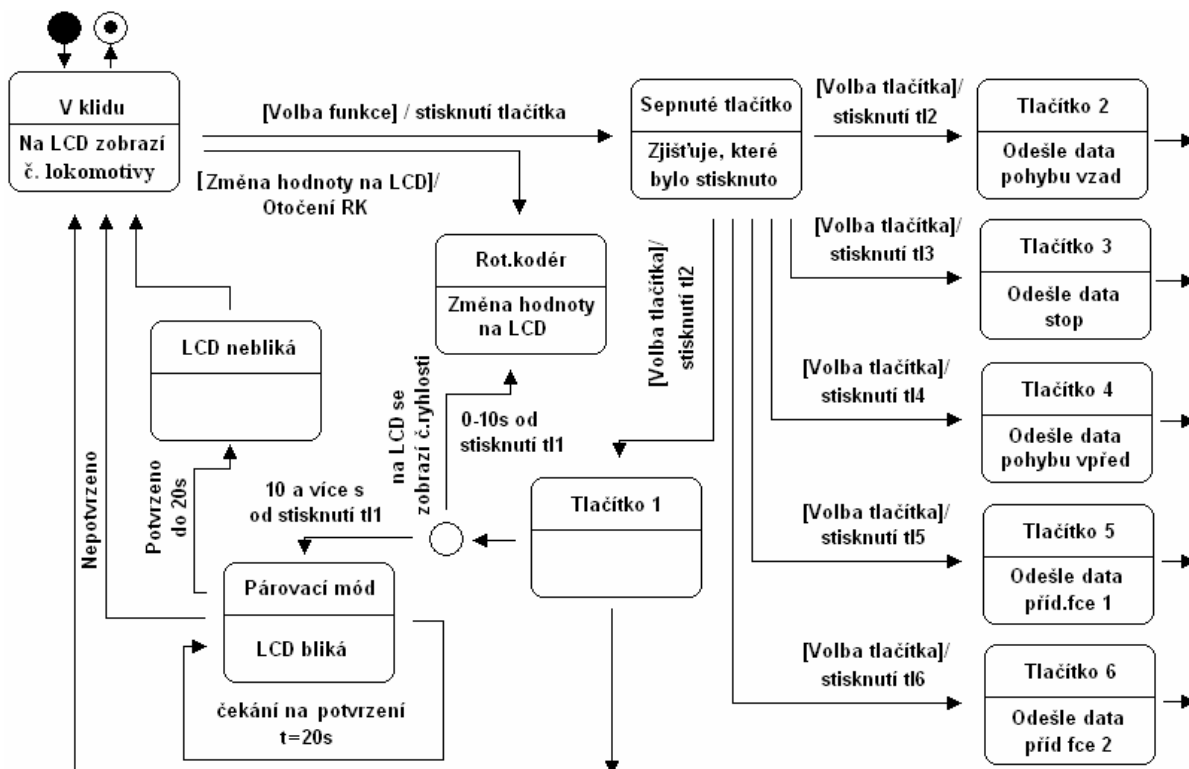
Každý modul, ať se jedná o dálkové ovládání či řídicí jednotku, obsahuje dva typy programů. Je to samostatný program pro modul IQRF a modul pro procesor ATmega 16 (ATmega 16L). Tyto moduly jsou v podstatě stavovými automaty. Na následujících obrázcích jsou znázorněny stavové diagramy pro jednotlivé části. Na obrázku 32 je znázorněn stavový diagram pro modul IQRF.



Obrázek 32 - Stavový diagram pro IQRF

V klidovém stavu čeká IQRF do příchodu dat. Data mohou dorazit ze dvou cest. První cesta je po RF, druhá po SPI. Data z jedné cesty vyzvedne a odešle na cestu druhou. Cyklus se poté opakuje.

Na obrázku 33 je znázorněn stavový diagram pro modul dálkového ovládání.

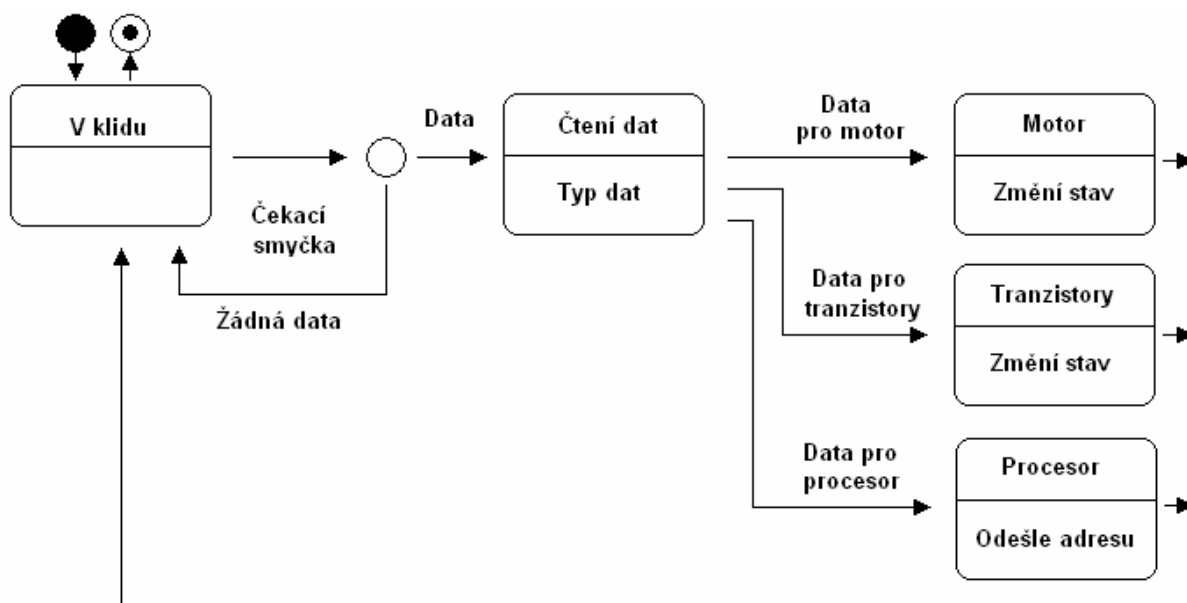


Obrázek 33 - Stavový diagram pro dálkové ovládání

V klidovém stavu ukazuje LCD modulu ovladače číslo navolené lokomotivy. Volbou tlačítka zadá jednotlivé příkazy a odešle je lokomotivě, poté se vrátí do původního stavu. U tlačítka jedna je více funkcí, které jsou rozděleny na časové úseky. Při překročení daného času se spustí párovací mód a LCD začne blikat. Při potvrzení v čase párovacího módu a nebo

nepotvrzení LCD přestane blikat a vrátí se do původního stavu, tedy ukazuje číslo zvolené lokomotivy.

Na obrázku 34 je znázorněn stavový diagram pro modul řídicí jednotky lokomotivy.



Obrázek 34 - Stavový diagram pro řídicí jednotku

Při příchodu dat rozezná druh dat a vykoná navolené příkazy. Poté se vrátí do počátečního stavu a opakuje ho.

Podrobnější vysvětlení principu fungování je na vývojových diagramech v kapitolách 7.4.1, 7.4.2 a 7.4.3.

7.3. Vývojové prostředky

Veškeré programy pro mikroprocesor od firmy Atmel (ATmega 16 / 16L), byly vytvořeny za pomoci integrovaného vývojového prostředí AVR studio 4 a byly napsány v jazyce C (použit byl kompilátor AVR GCC). Pro ladění a programování byly použity vývojové prostředky od firmy PK Design (např. programátor JTAG).

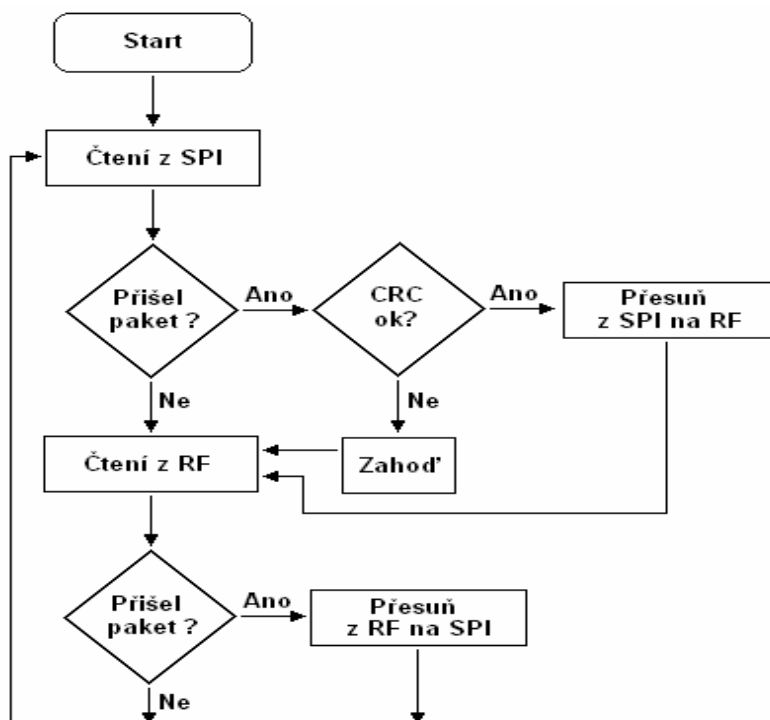
Software pro IQRF moduly TR-868-21A byl napsán pomocí vývojového prostředí IQFR_IDE (verze 1.01), který byl následně zkompileován programem CC5X volně dostupným na stránkách www.IQRF.org. Pro ladění a programování byly použity vývojové prostředky od firmy Microrisc (např. programátor CK-usb-02).

7.4. Firmware

Všechny zdrojové kódy jsou v elektronické podobě k dispozici na příloženém CD. Pro ukázkou je v příloze 3 zdrojový kód pro modul IQRF a v příloze 4 zdrojový kód pro ATmega 16 řídicí jednotky.

7.4.1. Software pro modul IQRF

Kompletní zdrojový kód pro moduly IQRF, včetně hlavičkových souborů je k nalezení na disku CD. Na obr.35 je vývojový diagram programu pro IQRF.

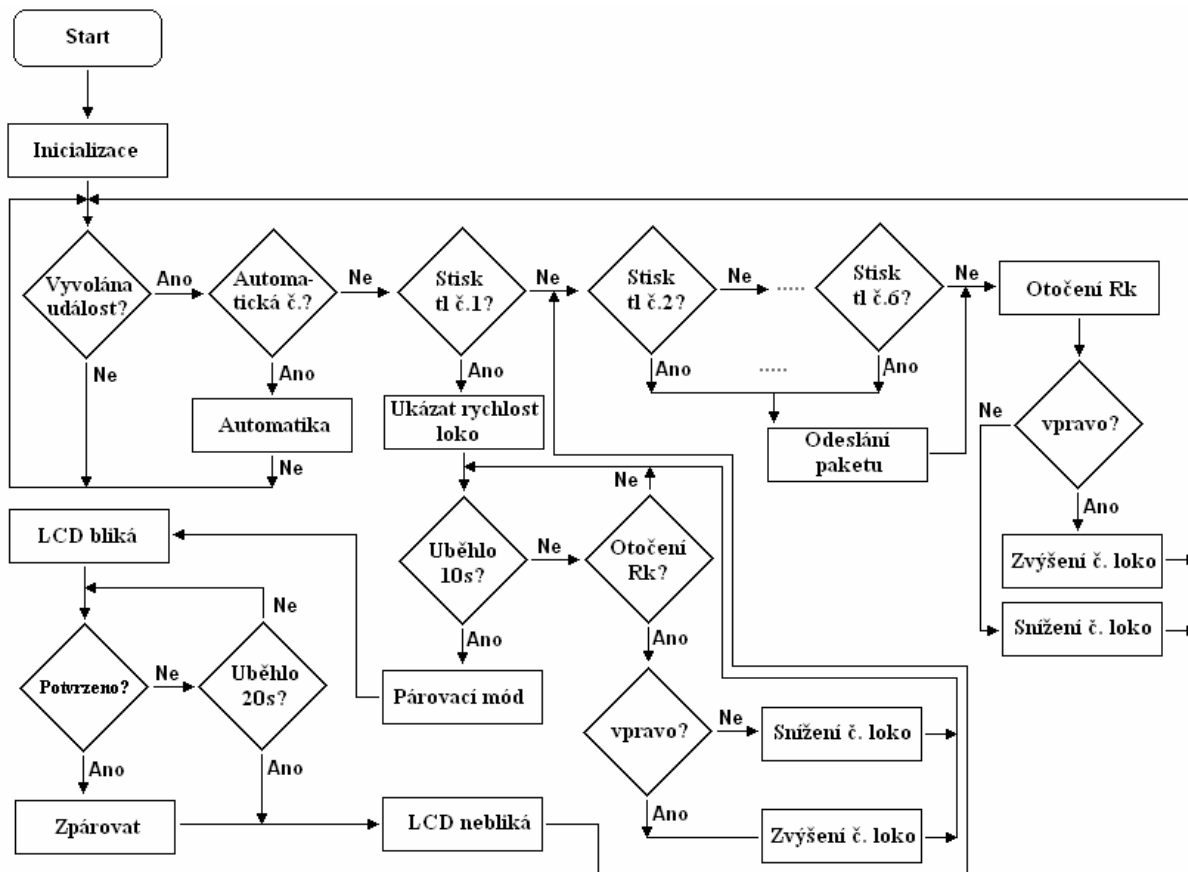


Obrázek 35 - Vývojový diagram pro IQRF modul

Program při zapnutí modulu spustí cyklus pro čtení z SPI a pro čtení z RF. Pokud v jedné z možných cest nalezne data, zkontroluje je a přepošle na „opačnou stranu“ (z SPI na RF a naopak). Poškozená data zahodí a pokračuje v cyklu. V podstatě se jedná o tzv. „Tunel“.

7.4.2. Software pro mikroprocesor v ovladači

Kompletní zdrojový kód pro modul ovladače, včetně hlavičkových souborů je k nalezení na disku CD. Na obr.36 je vývojový diagram programu pro ovladač.



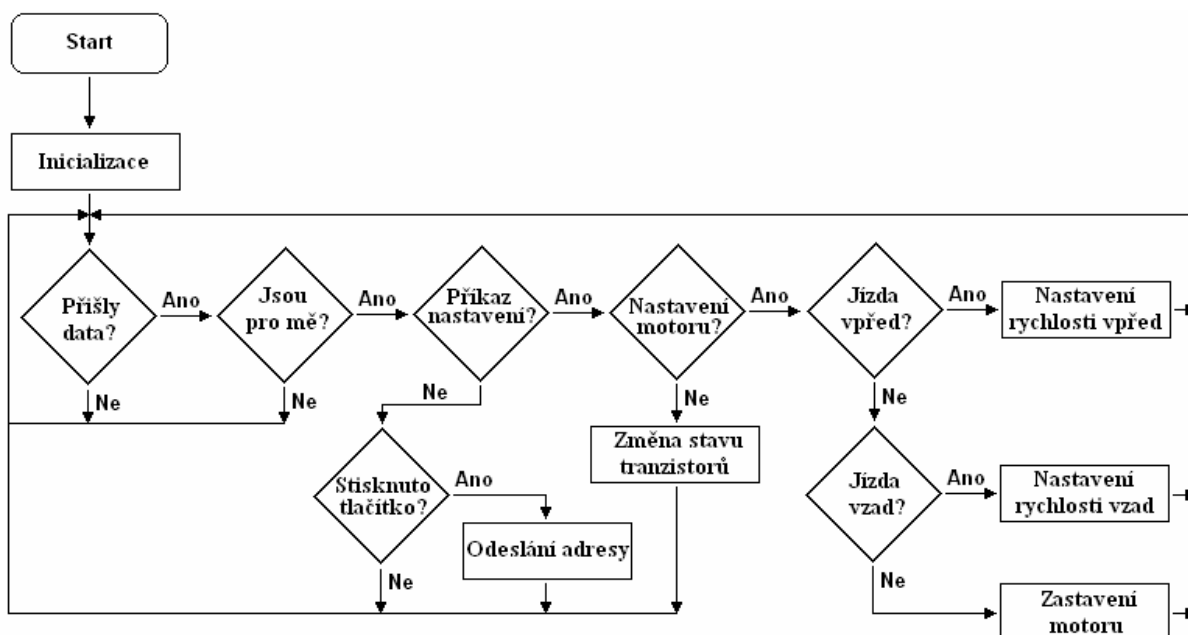
Obrázek 36 - Vývojový diagram pro procesor ovladače

Po spuštění dálkového ovládání se systém prvotně ziniculuje a čeká na výkon nějaké činnosti. Pokud se vyvolá, zjistí, zda byla činnost vykonána uživatelem nebo automaticky (automatická činnost je např. refresh LCD). Pokud je od uživatele, začne se „ptát“ o jakou činnost jde (stisk tlačítka, otočení Rotačního kodéru (Rk)). Při stisknutí tlačítka č.1 (tl. č.1) se na LCD zobrazí rychlost lokomotivy (loko) a čeká se, zda uběhl čas pro spuštění párovacího módu (10s). Pokud uběhl přednastavený čas ovládání, spustí párování a LCD začne blikat (pro upozornění uživatele). Ovladač čeká na potvrzení od lokomotivy (speciální potvrzovací tlačítko). Čas čekání je přednastaven na 20s. Pokud do této doby dojde k potvrzení, systémy se spárují a LCD přestane blikat. Pokud ne, systém odpočítá 20s a LCD přestane blikat taktéž. Stisknutím tlačítek 2, 3, 4, 5 a 6 se odešle paket s daty (tl. č.2 – pohyb vzad, tl. č.3 – stop, tl. č.4 – pohyb vpřed, tl. č.5 – přídavná funkce 1, tl. č.6 – přídavná

funkce 2). Otočení rotačního kodéru probíhá ve dvou módech. První je samostatné otočení Rk, kdy Rk mění číslo mašinky, kterou chceme vybrat. Druhý je při současném stisknutí tl. č.1 a otáčení Rk. Zde dochází ke změně velikosti rychlosti. Poté se celý cyklus systému opakuje.

7.4.3. Software pro mikroprocesor v řídicí jednotce

Kompletní zdrojový kód pro modul řídicí jednotky, včetně hlavičkových souborů je k nalezení na disku CD. Na obr.37 je vývojový diagram programu pro IQRF.



Obrázek 37 - Vývojový diagram pro procesor řídicí jednotky

Po spuštění řídicí jednotky se systém prvotně ziniculuje a čeká, dokud nepřijdou data. Poté zkontroluje, zda jde o data, která patří této řídicí jednotce (kontrola adresy). Prokáže-li se, že se jedná o data pro tuto jednotku, zjišťuje, zda se jedná o data příkazová (motor, tranzistory). Nejedná-li se o data příkazová, je na uživateli, aby stiskl nebo nestiskl tlačítko řídicí jednotky. V případě, že se jedná o data příkazová, zjišťuje, zda se jedná o příkazy na motor (M) nebo na tranzistory (O). Pokud se nejedná o příkazy pro motor, nastaví tranzistory (změní jejich stavy). Jestliže jde o příkazy pro motor, zjistí, o jaký pohyb se jedná. Možnosti jsou vpřed, vzad a zastavení motorku. V případě vzad/vpřed dosáhne motorek jen té rychlosti, kterou uživatel navolil a odeslal. V případě „stop“ mikroprocesor lokomotivu zastaví. Systém pak dále čeká v nekonečné smyčce na další data.

7.5. Praktické testy

Testování zařízení probíhalo v laboratořích Univerzity Pardubice.

Motorek použitý pro testování pracuje na napájecím napětí 12V. Nebyl tedy totožný s motorkem skutečného modelu lokomotivy, ale byl postačující pro testování programů. Po malých úpravách v programu lze tento motorek nahradit skutečným motorkem modelu lokomotivy. Model zahradní železnice a lokomotivy nebyly použity při testování zařízení, protože nebyly v době testování k dispozici.

Pokud antény (prutové) nebyly v kolmé poloze k zemi (u obou zařízení) docházelo ke špatnému přenosu dat.

Zařízení byla napájena ze stejnosměrných zdrojů. Do „cesty“ signálu nebyly kladeny žádné překážky. Pro dosah 20m se tedy počítá s volným terénem.

8. Závěr

Cílem práce byl návrh systému pro řízení modelové zahradní železnice, který by měl umožnit nezávislé ovládání jízdy až 10 lokomotiv. Kterýkoliv ovladač by měl být schopen řídit jakoukoliv lokomotivu (její směr, rychlost, zastavení a dvě přídavné funkce).

Bylo třeba zvolit jednu z možností koncepce řešení systému. Vybrán byl bezdrátový přenos dat splňující požadavky na daný systém. Jako jedna z vyhovujících byla vybrána technologie IQRF (nejnovější), kde postačoval ke splnění požadavků modul TR-868-21A.

Systém se skládá z modulu dálkového ovládání a řídicí jednotky modelu lokomotivy. Oba moduly mají zabudován IQRF modul, který bezdrátově (RF) spojuje tyto dvě části. Programové vybavení je složeno ze tří částí. První část je program pro modul IQRF, který přeposílá data z RF na SPI a opačně. Další část je určena pro ovladač a poslední část je pro řídicí jednotku.

Vlastní návrh byl rozpracován do podoby prototypových zařízení, které byly testovány v laboratorních podmínkách. Při testování bylo zjištěno, že antény ve formě prutů nejsou zcela správným řešením při tvorbě takového systému. Je zřejmé, že tyto antény musí být kolmo k zemi, a to jak v případě dálkového ovládání, tak i v případě řídicí jednotky, jinak může dojít ke špatnému přenosu dat.

Závěrem lze konstatovat, že se podařilo splnit všechny požadavky kladené na navrhovaný systém a po malých úpravách lze tento systém použít v praxi.

Pro budoucí použití by bylo vhodné upravit logiku ovládání do přijatelnější podoby vůči jakémukoliv uživateli. Nastavování adres lokomotiv by bylo dobré zajistit manuálně („jumperováním“ v řídicích jednotkách). Pro větší dosah systému lze umístit do středu kolejiště jednotku s modulem IQRF, který zajistí „hopsání“ dat.

Použitá literatura

1. MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry : ATMEL AVR ATmega16, 4. díl*. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 320 s. ISBN 80-7300-174-8.
2. Alldatasheet : *ATmega16* [online]. 2003-2008 [cit. 2008-07-20]. Dostupný z WWW: <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/78532/ATMEL/ATmega16.html>>.
3. Alldatasheet : *LMD18200T* [online]. 2003-2009 [cit. 2009-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/9136/NSC/LMD18200T.html>>.
4. HÁJEK, Jan. *Automatizace : Standard Bluetooth: vývoj, princip a možnosti využití* [online]. 2004 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=639>>.
5. IQRF : *jednoduchá cesta k efektivním bezdrátovým řešením* [online]. 2008 [cit. 2008-07-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products>>.
6. MICRORISC s.r.o.. IQRF : *Simple way to smarter wireless solutions* [online]. 2007 [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=dsxxx31&ot=devtools&ot2=developmentsets>>
7. Mobil.cz : *Bluetooth tajemství zbavené. Jak fungují profily?* [online]. 1999-2009 [cit. 2009-05-05]. Dostupný z WWW: <http://mobil.idnes.cz/bluetooth-tajemstvi-zbavene-jak-funguji-profily-fb0-/svet-mobilu.asp?c=A080222_182731_svet-mobilu_onp>.
8. MPresent s.r.o.. *Automa : časopisy a knihy navazující na tradici české odborné literatury* [online]. 2007-2009 [cit. 2009-05-02]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33560>.
9. *Pardubický spolek historie železniční dopravy* [online]. 2008 [cit. 2009-05-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.pshzd.cz/2008.html>>.
10. ŠEFLOVÁ, Petra. *MICROCHIP : Hi-tech components for hi-tech applications* [online]. [1999] [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.microchip.cz/new/webcz/index.php?id=reseni&sekce=komunikace>>.
11. Wikipedie - otevřená encyklopedie : *Wi-fi* [online]. 2000 [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Wi-fi#cite_note-0>.
12. Wikipedie – otevřená encyklopedie : *Zigbee* [online]. 2000 [cit. 2009-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/ZigBee>>.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Model zahradní železnice	14
Obrázek 2 - Možnost cesty dat 1	16
Obrázek 3 - Možnost cesty dat 2	16
Obrázek 4 - Uspořádání částí systému	17
Obrázek 5 - Vývojová sada a příslušenství	19
Obrázek 6 - Point-to-point (vlevo) a point-to-multipoint (vpravo)	20
Obrázek 7 - Star (vlevo) a Extended star (vpravo)	20
Obrázek 8 - Tree	20
Obrázek 9 - IQMESH	21
Obrázek 10 - Typy sítí technologie ZigBee	23
Obrázek 11 - Topologie sítě Bluetooth	25
Obrázek 12 - Topologie Ad-hoc	27
Obrázek 13 - Modul TR-868-21A	29
Obrázek 14 - Zjednodušené schéma TR-xxx-21A	30
Obrázek 15 - Blokové schéma dálkového ovládání	32
Obrázek 16 - Schéma zapojení dálkového ovládání	33
Obrázek 17 - Plošný spoj dálkového ovládání	34
Obrázek 18 - Rozmístění součástek dálkového ovládání ze strany součástek	34
Obrázek 19 - Rozmístění součástek dálkového ovládání ze strany spojů	34
Obrázek 20 - Rozložení vývodů ATmega 16 (pouzdro DIP 40 a TQFP 44)	36
Obrázek 21 - Reálný modul dálkového ovládání	37
Obrázek 22 - Blokové schéma řídicí jednotky	37
Obrázek 23 - Schéma zapojení řídicí jednotky	38
Obrázek 24 - Plošný spoj řídicí jednotky	39
Obrázek 25 - Rozmístění součástek řídicí jednotky ze strany součástek	39
Obrázek 26 - Rozmístění součástek řídicí jednotky ze strany spojů	39
Obrázek 27 - Funkční diagram H-můstku	41
Obrázek 28 - Reálný modul řídicí jednotky	42
Obrázek 29 - Struktura paketu pro ovládání motoru	42
Obrázek 30 - Struktura paketu pro přídatné funkce	43
Obrázek 31 - Struktura paketu adresy	43

Obrázek 32 - Stavový diagram pro IQRF.....	44
Obrázek 33 - Stavový diagram pro dálkové ovládání	44
Obrázek 34 - Stavový diagram pro řídicí jednotku	45
Obrázek 35 - Vývojový diagram pro IQRF modul	46
Obrázek 36 - Vývojový diagram pro procesor ovladače.....	47
Obrázek 37 - Vývojový diagram pro procesor řídicí jednotky.....	48

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Přehled rádiových pásem ZigBee.....	22
Tabulka 2 - Přehled standardů IEEE 802.11	26

Příloha 1

Rozpis součástek pro dálkové ovládání:

- Rezistory:
 - R1 - 4k7
 - R2, R3, R4 - 2k2
 - R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12- 10k
- Kondenzátory:
 - C1, C2 - 27pF
 - C3, C4 - 100nF
 - C5 - 2uF
- Diody:
 - D1 - 1N4148
 - D2, D3, D4- 2mA
- Tlačítka: S1 - S6
- Krystal: Q1 - 8MHz
- Jumperové lišty: JP1 - JP7
- Vypínač: SW1
- Sim konektor: Sim-8pin
- Rotační kodér: RK

Příloha 2

Rozpis součástek řídicí jednotky lokomotivy

- Rezistory:
 - R1, R2 - 1k2
 - R3 - 4k7
 - R4 – 2k2
- Kondenzátory:
 - C1, C2 - 27pF
 - C3 – 2uF
 - C4 – 0,33uF
 - C5, C8, C10, C11 – 100nF
 - C6, C7 - 10nF
 - C9 – 470uF
- Diody:
 - D1 - 1N4148
 - D2 - 2mA
- Krystal: Q1 - 8MHz
- Tranzistory: T1,T2 – TIP122
- Jumperové lišty: JP1 – JP8
- Svorkovnice: S1 – S4
- Sim konektor: Sim-8pin
- Diodový můstek: KLB04
- Stabilizátor: 7805

Příloha 3

Program pro IQRF modul

```
#include "includes/template-basic.h"
#pragma optimize 1

void APPLICATION()
{
    // nastavení WDT-watchdock
    WDTCON = 0b0000.1111;
    OPTION |= 0b0000.1111;

    // nastavení dob pro bliknutí LED
    setOnPulsingOUT2(5);
    setOffPulsingOUT2(10);

    // povolení rozhraní SPI
    enableSPI();
    // vymazání WDT-watchdock
    clrwdt();
    // nastaví výkon pro vysílání na maximum
    setTxpower(7);
    // nekonečná smyčka
    while (1)
    {
        clrwdt();
        // přečte status sb. SPI
        getStatusSPI();
        // pokud přišel paket
        if (_SPIRX)
        {
            // a CRC není v pořádku (CRC-Cyklická redundantní kontrola)
            if (!_SPIRCOK)
                // zpráva se zahodí
                goto restartSPI;
            // jinak jsou přesunuta data do SPI bufferu...
            bufferRF[0] = bufferCOM[0];
            bufferRF[1] = bufferCOM[1];
            bufferRF[2] = bufferCOM[2];
            bufferRF[3] = bufferCOM[3];
            // blikne LEDkou
            pulseLED();
            // nastaví délku RF paketu na 3
            DLEN = 4;
            // odešle RF paket
            PIN = 0;
            RFTXpacket();

            restartSPI:
            // restart st. automatu
            startSPI(0);
        } // konec podmínky

        clrwdt();
        // pokud přišel RF paket
        if (RFRXpacket())
        {
            pulseOUT2();
            bufferCOM[0] = bufferRF[0];
            bufferCOM[1] = bufferRF[1];
            bufferCOM[2] = bufferRF[2];
            bufferCOM[3] = bufferRF[3];
            startSPI(4);
            clearBufferINFO();
            copyBufferINFO2RF();
        }
    } // konec while
} // konec app
```

Příloha 4 – A

Program pro mikroprocesor v řídicí jednotce

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include "spi.h"
#include "iqrh.h"

volatile unsigned char rozjezdove_krivky[10] = {30, 60, 90, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 255};
volatile unsigned char maximalni_rychlost = 0;
volatile unsigned char index_rychlosti = 0;
volatile unsigned char motor_state = MOTOR_STOP;
volatile unsigned int citac_rozjezdu = 0;
volatile unsigned int citac_zpatecky = 0;
volatile unsigned int citac_IQRF = 0;
volatile unsigned int citac_tlacitko = 0;

// zavolá se každou milisekundu
ISR(TIMERO_COMP_vect )
{
    // citac pro rozjezd
    if (citac_rozjezdu < MOTOR_A_TIME)
        citac_rozjezdu +=1;
    // citac pro zpatecku
    if (citac_zpatecky < MOTOR_A_TIME)
        citac_zpatecky +=1;

    // citac pro cteni z IQRF
    if (citac_IQRF < IQRF_TIME)
        citac_IQRF +=1;

    // citac pro tlacitko odeslani adresy
    if (citac_tlacitko < KEY_TIME)
        citac_tlacitko +=1;
}

int main(void)
{
    // inicializace SPI v master modu
    SPI_MasterInit();
    IQRF_Check();

    // zinicualizuje můstek
    BRIDGE_PORT_INIT;
    BRAKE_OFF;
    DIRRECTION_1;
    KEY_INIT;

    // zinicualizuje tranzitory
    TRANSISTOR_INIT;

    // nastaví PWMku
    TCCR2= ((1<<WGM20)|(1<<WGM21)|(1<<COM21)|(1<<CS21));
    // vypne motor
    OCR2 = 0;

    // nastavení čítače / časovače 0
    TCCR0=((1<<WGM01) | (1<<CS01) | (1<<CS00));
    TIMSK=(1<<OCIE0);
    OCR0=0xF9;

    sei();
}
```

Příloha 4 - B

```
for(;;)
{
    // pokud uběhl přednastavený čas od předchozí komunikace
    if (citac_IQRF == IQRF_TIME)
    {
        // otestuje jestli jsou data
        if (IQRF_Check()==2)
        {
            // a když jsou, pak je zpracuje
            if (FRXIQRF > 0)
            {
                // přečte adresu
                unsigned char addr = iqrfrx[0];
                if (addr == DEVCE_ID)
                {
                    // přečte příkaz
                    unsigned char cmd = iqrfrx[1];
                    // pokud přijde příkaz na motor
                    if (cmd == 'M')
                    {
                        // pokud má zastavit, zastaví
                        if (iqrfrx[2] == '0')
                        {
                            motor_state = MOTOR_STOP;
                            index_rychlosti = 0;
                            OCR2 = 0;
                        }
                        // pokud se má rozjet, zařídí to.
                        if ((iqrfrx[2] == '1') && (motor_state == MOTOR_STOP))
                        {
                            DIRRECTION_1;
                            motor_state = MOTOR_FORWARD;
                            maximalni_rychlost = iqrfrx[3]-'0';
                            citac_rozjezdu = MOTOR_A_TIME;
                        }
                        // pokud se má couvat, zařídí to.
                        if ((iqrfrx[2] == '2') && (motor_state == MOTOR_STOP))
                        {
                            DIRRECTION_2;
                            motor_state = MOTOR_BACKWARD;
                            maximalni_rychlost = iqrfrx[3]-'0';
                            citac_zpatecky = MOTOR_A_TIME;
                        }
                    }
                }
                // pokud přijde příkaz na tranzistory
                if (cmd == '0')
                {
                    // podle parametru (tranzistor 1, 2)
                    if (iqrfrx[2] == '1') TRANSISTOR_1_TOGGLE;
                    if (iqrfrx[2] == '2') TRANSISTOR_2_TOGGLE;
                }
            }
            FRXIQRF=0;
        }
        citac_IQRF = 0;
    }
}
```

Příloha 4 – C

```
// pokud má jet mašinka dopředu
if (motor_státe == MOTOR_FORWARD)
{
    // pokud nedosáhla maximální rychlosti
    if (index_rychlosti < maximalni_rychlost)
    {
        // pokud je na to vhodná doba...
        if (citac_rozjezdu == MOTOR_A_TIME)
        {
            // smaze citac, přida na rychlosti a přenastaví PWM
            citac_rozjezdu = 0;
            index_rychlosti += 1;
            OCR2 =rozjezdove_krivky[index_rychlosti];
        }
    }
}
// pokud má jet mašinka dozadu
if (motor_státe == MOTOR_BACKWARD)
{
    // pokud nedosáhla maximální rychlosti
    if (index_rychlosti < maximalni_rychlost)
    {
        // pokud je na to vhodná doba...
        if (citac_zpatecky == MOTOR_A_TIME)
        {
            // smaze citac, přida na rychlosti a přenastaví PWM
            citac_zpatecky = 0;
            index_rychlosti += 1;
            OCR2 =rozjezdove_krivky[index_rychlosti];
        }
    }
}
// pokud se má odeslat číslo zařízení
if (citac_tlacitko == KEY_TIME)
{
    // naplní buffer daty
    unsigned char data[4] = {'a','b',0x00,0x00};
    data[2] = DEVCE_ID;
    // pokud je stisknuto tlačitko
    if (KEY_SEND_ID)
    {
        // odesle...
        IQRf_SendMessage(data,4);
    }
    citac_tlacitko = 0;
}
}

return 0;
}
```