



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta mechatroniky, informatiky  
a mezioborových studií ■

# ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA VÝUKOVÉHO SYSTÉMU ROBOKIDS

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2612 – Elektrotechnika a informatika  
*Studijní obor:* 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy  
*Autor práce:* **Jiří Ešpandr**  
*Vedoucí práce:* Ing. Zbyněk Mader, Ph.D.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří Ešpandr**  
Osobní číslo: **M11000151**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**  
Název tématu: **Řídicí jednotka výukového systému RoboKids**  
Zadávací katedra: **Ústav informačních technologií a elektroniky**

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

1. Seznamte se se stávající řídicí jednotkou výukového systému RoboKids, proveďte analýzu její funkce.
2. Navrhněte novou řídicí jednotku s mikrořadičem řady PIC18, která je HW kompatibilní se stávající jednotkou, čtečka programovacích karet bude nahrazena softwarovým modulem s použitím ovládacích tlačítek a grafického LCD.
3. Naprogramujte procesor tak, aby umožnil všechny funkce stávající jednotky, dále umožnil dva režimy, režim administrátora pro nastavení jednotky výukovým programem a režim uživatele pro spouštění výukového programu.
4. Vyřešte automatické vypínání jednotky pro případ její nečinnosti, zajistěte vizuální detekci stavu napájecího napětí.

Rozsah grafických prací: Dle potřeby dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: cca 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] Matoušek, David: C pro mikrokontroléry PIC, BEN, 2011, ISBN 978-80-7300-413-2
- [2] Herout, Pavel. Učebnice jazyka C, 1.díl, Koop, 2002. ISBN 80-85828-21-9
- [3] Verle, Milan. PIC Microcontrollers - Programming in C, mikroElektronika, 2009 ISBN13 978-86-84417-17-8

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Zbyněk Mader, Ph.D.**

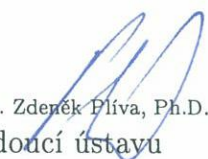
Ústav informačních technologií a elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 12. září 2014

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. května 2015



prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.  
děkan



prof. Ing. Zdeněk Pliva, Ph.D.  
vedoucí ústavu

V Liberci dne 12. září 2014

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 15. 5. 2015

Podpis: 

## **Abstrakt**

Práce se zabývá řídicí jednotkou pro stavebnice ROBOROBO RoboKids, seznámením analýzou jejich funkcí a vlastností. Dále je popsán návrh nové řídicí jednotky s mikrokontrolérem řady PIC18, která bude hardwarově kompatibilní s původní jednotkou. Součástí návrhu je tvorba nového uživatelského rozhraní s grafickým LCD displejem a snížení energetických nároků nové jednotky při zachování všech původních funkcí.

Nová řídicí jednotka je sestavena a odzkoušena na nepájivém kontaktním poli. Jsou analyzovány její vlastnosti a je popsáno programování jednotky. Dále je řešeno automatické vypínání jednotky v době nečinnosti, detekce stavu napájecího napětí a jeho vizualizací na grafickém LCD displeji. Na závěr jsou shrnuty dosažené výsledky.

### **Klíčová slova**

Mikrokontrolér, displej, řídicí jednotka, vstupní/výstupní zařízení, energetická nenáročnost, stavebnice ROBOROBO RoboKids

## **Abstract**

The work deals with the control unit for kit ROBOROBO RoboKids, learning about it and analysing their functions. Further is described proposal for a new control unit with PIC18 microcontroller series, which will be hardware-compatible with the original unit. Part of the proposal is the creation of a new user interface with graphical LCD display and the reduction energy requirements of the new unit while retaining all of the original features.

The new control unit is built and tested at the solderless breadboard. There are analysed its properties and described programming unit. Furthermore, there is solution of automatically switching off the unit, when it is idle, voltage status detection and its visualization on the graphical LCD display. At the end results are summarized.

### **Keywords**

Microcontroller, display, control unit, input/output devices, energy efficiency, kit ROBOROBO RoboKids

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Zbyňku Maderovi, Ph.D. za jeho vedení, poskytování konzultací a technických i výukových prostředků nezbytných k realizaci této bakalářské práce.

# Obsah

Seznam obrázků.....	8
Seznam použitých zkratk .....	9
Úvod .....	10
1 Původní řídicí jednotka.....	11
1.1 Základní popis.....	11
1.2 Popis vnitřního uspořádání.....	14
1.2.1 Zapojení vstupních portů .....	15
1.2.2 Zapojení výstupních portů .....	15
1.2.3 Zapojení čtečky čárových kódů .....	16
1.2.4 Uživatelská tlačítka.....	17
1.3 Popis vstupních zařízení.....	19
1.3.1 Tlačítko .....	19
1.3.2 Akustické čidlo .....	20
1.3.3 Odrazové čidlo .....	21
1.4 Popis výstupních zařízení.....	22
1.4.1 Svítivé LED diody .....	23
1.4.2 Bzučák .....	24
1.4.3 Stejnoseměrný motorek .....	24
2 Nová řídicí jednotka .....	26
2.1 Požadavky na novou řídicí jednotku .....	26
2.2 Výběr mikrokontroléru.....	27
2.3 Návrh nové řídicí jednotky.....	29
2.4 Vstupní porty.....	30
2.5 Výstupní porty.....	33
2.6 Energetická nenáročnost .....	34

2.7	Měření napětí .....	37
3	Software nové řídicí jednotky.....	39
3.1	Měření a vyhodnocení napětí z baterií .....	39
3.2	Měření a vyhodnocení výstupu ze vstupních zařízení .....	40
3.3	Ovládání stejnosměrných motorků .....	41
4	Závěr .....	42
4.1	Porovnání výsledků se zadáním .....	42
4.2	Využití práce .....	43
	Seznam použité literatury a dalších pramenů .....	44
	Obsah přiloženého CD .....	45
	Příloha 1 .....	46
	Příloha 2 .....	47



## Seznam obrázků

Obr. 1: Řídící jednotka shora.....	11
Obr. 2: Řídící jednotka zespoda.....	12
Obr. 3: Vstupní konektory.....	12
Obr. 4: Výstupní konektory.....	13
Obr. 5: Čtečka čárových kódů.....	13
Obr. 6: Kartička lekce s čárovým kódem.....	14
Obr. 7: Výřez ze schématu původní řídicí jednotky, vstupní porty.....	15
Obr. 8: Výřez ze schématu původní řídicí jednotky, výstupní porty.....	16
Obr. 9: Výřez ze schématu původní řídicí jednotky, čtečka čárových kódů.....	17
Obr. 10: Výřez ze schématu původní desky, zapojení uživatelských tlačítek.....	19
Obr. 11: Tlačítko.....	20
Obr. 12: Schéma zapojení tlačítka.....	20
Obr. 13: Akustické čidlo.....	21
Obr. 14: Odrazové čidlo.....	22
Obr. 15: Schéma zapojení odrazového čidla.....	22
Obr. 16: Svítivé LED diody.....	23
Obr. 17: Schéma zapojení svítivých LED diod.....	23
Obr. 18: Bzučák.....	24
Obr. 19: Stejnoseměrný motorek.....	25
Obr. 20: Výřez ze schématu nové řídicí jednotky, schéma zapojení vstupního portu....	32
Obr. 21: Výřez ze schématu nové řídicí jednotky, schéma zapojení výstupního portu..	34
Obr. 22: Výřez ze schématu nové řídicí jednotky, schéma zapojení tranzistorů.....	36
Obr. 23: Výřez ze schématu nové řídicí jednotky, schéma zapojení děliče napětí.....	38

## Seznam použitých zkratek

GND	Uzemnění (Ground)
PWM	Pulsně šířková modulace (anglicky Pulse-Width Modulation)
R/D	Čtení/Stažení (anglicky Read/Download)
LCD	Displej z tekutých krystalů (anglicky Liquid Crystal Display)
LED	Dioda emitující světlo (anglicky Light-Emitting Diode)

# Úvod

Stavebnice ROBOROBO RoboKids je lego stavebnice používaná k výuce a přiblížení robotiky žákům prvního stupně základní školy, prostřednictvím již připravených lekcí, které si žáci sami zrealizují. Stavebnice má vlastní řídicí jednotku s vstupními a výstupními zařízeními připojitelnými přes RJ12 konektory s kabelem. Díky tomu se dají na vstupní porty připojovat různá vstupní zařízení. To samé se dá dělat s výstupními porty. Díky tomu se stavebnice stává modulární a je tedy možné stavět různé úlohy s velice rozdílnými vlastnostmi. Jednotka je napájena čtyřmi AA (tužkovými) bateriemi, popřípadě dobíjecími akumulátory. Jednotka má tři vstupní, čtyři výstupní a jeden programovací port.

Jedním ze základních požadavků byla zpětná kompatibilita s původními vstupními a výstupními zařízeními. Déle zachování modulárnosti díky konektorům RJ12 s propojovacími kabely. Důvody vytvoření nové řídicí jednotky byly následující.

Prvním byla nedokonalost původní řídicí jednotky. Jednotka má špatně zvládnuté napájecí okruhy. To v konečném důsledku vede k rychlému vybíjení baterií.

Druhým důvodem je nutnost při každé výukové lekci, která je postavena a připravena na provoz, vybrat lekci a mód pomocí programátoru připojeného k programovacímu portu. Programátorem je čtečka čárových kódů (čísels). Tato čísla jsou uložena na kartičkách. Chce-li uživatel vybrat lekci s módem, musí kartičkou projet čtečku se správným číslem, tím se provede výběr módu a lekce, následně je možné pustit program.

Další motivací bylo přidání grafického LCD displeje, jehož prostřednictvím lze vytvořit čitelné uživatelské rozhraní. To umožní přesunutí všech programů do řídicí jednotky. Díky tomu je eliminována nutnost vybírání lekcí a módů přes čtečku kódů. Na tomto displeji bude také zobrazován stav baterií.

# 1 Původní řídicí jednotka

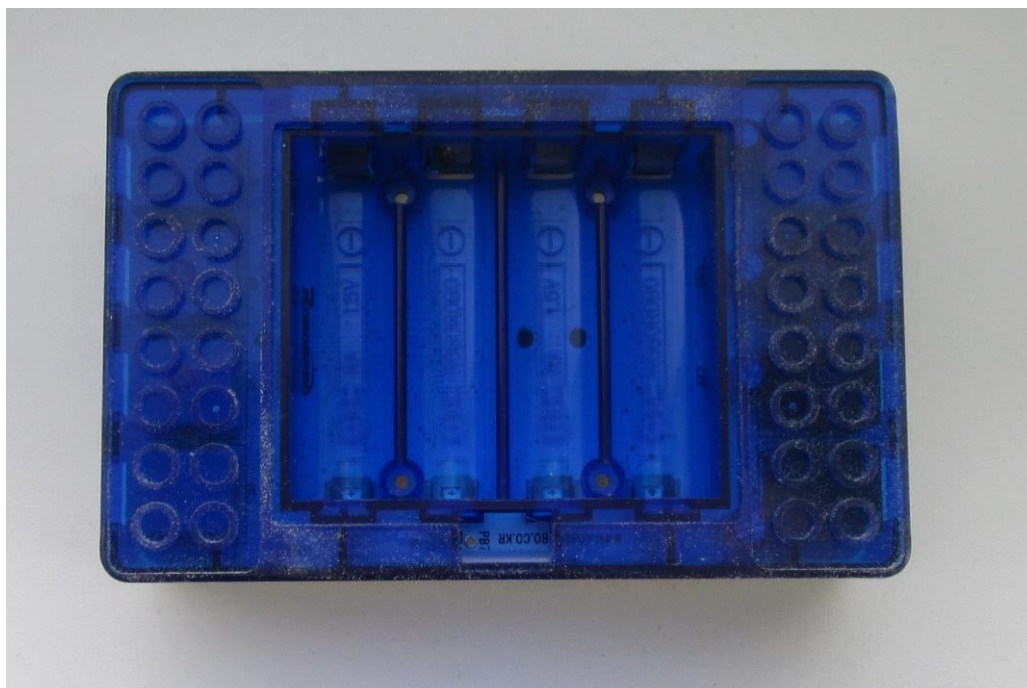
## 1.1 Základní popis

Původní řídicí jednotka je tvořena modrobílou obdélníkovou krabičkou. Při pohledu ze shora lze spatřit ovládací tlačítka. Tlačítka jsou umístěna uprostřed řídicí jednotky a je jich pět. Červené tlačítko „*power*“ je první, pod ním jsou čtyři černá tlačítka „*start*“, „*function*“, „*Left*“, „*Right*“. Tlačítko „*power*“ slouží pro zapnutí řídicí jednotky. Tlačítkem „*start*“ se spouští zvolený program. Pomocí tlačítka „*function*“ lze přejít do režimu testování vstupů/výstupů. Tlačítka „*left*“ a „*right*“ jsou pomocná ovládací tlačítka buď k programům, nebo k testování vstupů/výstupů.



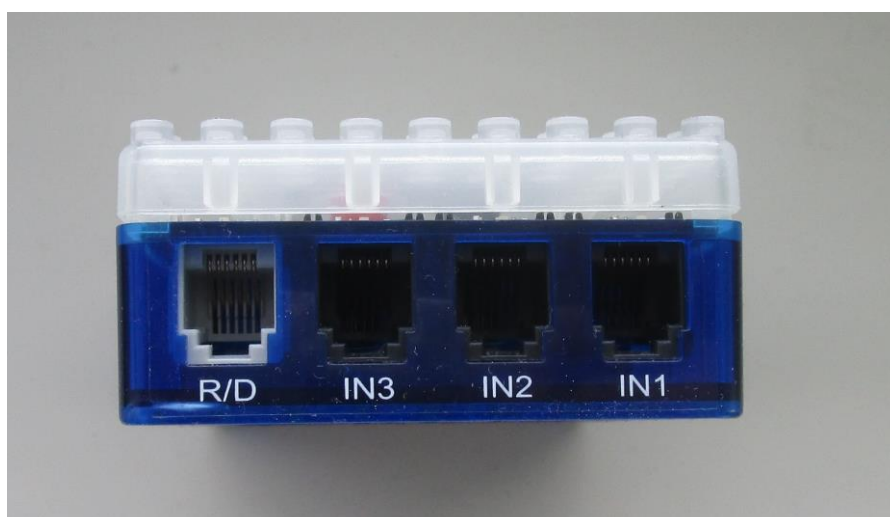
*Obr. 1: Řídicí jednotka shora.*

Řídicí jednotka je napájena čtyřmi tužkovými AA bateriemi o jmenovitém napětí 1.5 V jedné baterie. Baterie jsou umístěny zesponu řídicí jednotky za otvíratelným krytem, který je chrání a zároveň fixuje na místě mezi pólovými kontakty.

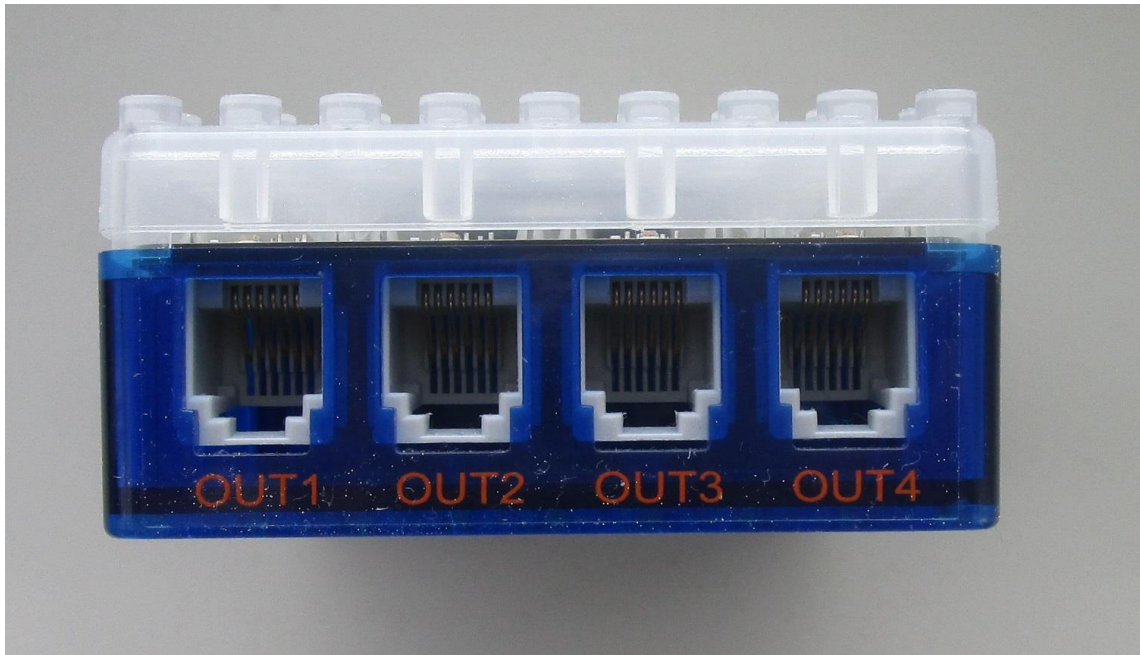


*Obr. 2: Řídící jednotka zespoda.*

Na přední a zadní straně jednotky jsou umístěny na každé straně čtyři konektory, celkem tedy osm konektorů. Z toho jsou čtyři výstupní a zabírají jednu celou stranu. Zbylé konektory na protilehlé straně jsou rozděleny na tři vstupní a na jeden, který slouží jako vstup pro čtečku čárových kódů (programátor). Konektory jsou značené *OUT1 – OUT4*, *IN1 - IN3* a *R/D* ten slouží pro již zmíněnou čtečku čárových kódů. Tyto konektory jsou typu *RJ12 female*.



*Obr. 3: Vstupní konektory.*



*Obr. 4: Výstupní konektory.*



*Obr. 5: Čtečka čárových kódů.*





Obr. 6: Kartačka lekce s čárovým kódem.

Do těchto portů se zapojují šesti žilové telefonní kabely. Tyto kabely mají na obou svých koncích také konektor *RJ12* ale typu *male*. K těmto kabelům se zapojují vstupní zařízení nebo programátor. Tato realizace umožňuje dobrou modulárnost celého zařízení a snadnou výměnu vstupně/výstupních zařízení. Vstupní zařízení jsou: odrazivé, akustické čidlo a spínač. Výstupní zařízení jsou: stejnosměrné motorčky, LED diody, bzučák.

## 1.2 Popis vnitřního uspořádání

Pod horním krytem se naskytne pohled na samotnou řídicí desku. Tu lze demontovat ze svého plastového obalu. Jednotka je napájena ze čtyř AA baterií/akumulátorů. Ty jsou zapojeny sériově. Celkové výstupní napětí z baterií je 6,00 V a s řídicí deskou jsou spojeny pomocí pólových paciček. Toto napětí je rozvedeno po celé desce a slouží k napájení jak jednotlivých konektorů, tak i k napájení H-můstků a napěťových stabilizátorů.

Srdcem řídicí desky je osmibitový mikrokontrolér od firmy ATMEL ATMEGA64A. Ten řídí celou desku a periferie. O jeho napájení se stará pětivoltový napěťový stabilizátor. Dále tento stabilizátor napájí bzučák bez přerušovače.

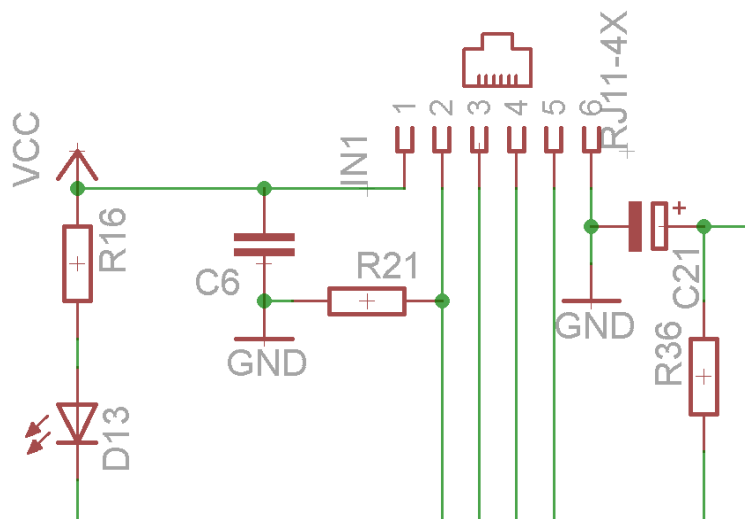
### 1.2.1 Zapojení vstupních portů

Každý ze tří vstupních portů má šest pinů. Tyto piny se počítají zleva doprava při čelním pohledu na port. Každý z těchto portů má na svém prvním pinu napětí z druhého pěti voltového stabilizátoru.

Toto napětí slouží k napájení vstupních zařízení a signalizačních svítivých diod, kde každý port má svoji. Svítí-li tato dioda, značí to pozitivní výstup ze vstupních zařízení na druhém pinu. Dioda je řízena pinem z mikrokontroléru, který je připojen ke katodě diody, je nastaven jako výstup a když se na něm nastaví logická nula, tak dojde k uzavření obvodu a diodou může protékat proud.

Druhý pin slouží jako vstup do mikrokontroléru z čidel a jde přímo na dva jeho piny. Těmito piny se zaznamenává výstup ze vstupních zařízení. Na třetím pinu je PWM signál z mikrokontroléru. Ten se využívá pro odrazové čidlo k řízení blikání osvětlovací diody.

Všechny čtvrté piny portů jsou spojené a připojené k jedinému pinu mikrokontroléru. Obdobně je řešen i pátý pin ale je připojen k jinému pinu mikrokontroléru než čtvrtý pin. Na šestém pinu je připojeno uzemnění.



Obr. 7: Výřez ze schématu původní řídicí jednotky, vstupní porty.

### 1.2.2 Zapojení výstupních portů

Výstupní porty jsou celkem čtyři. Stejně jako u vstupních portů mají i výstupní porty každé svoji signalizační svítivou diodu. Tato dioda je řešena stejným způsobem jako

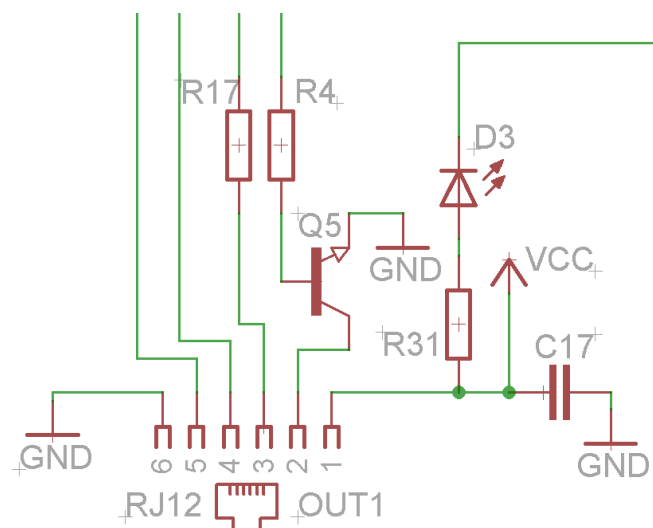


u vstupních portů a signalizuje aktivní výstup, tedy stav, při kterém by mělo zařízení připojené ke konektoru vykonávat definovanou funkci.

Se signalizační diodou je spjat první pin konektoru. Na něj je přivedeno napětí z pěti voltového napěťového stabilizátoru stejně, jako tomu bylo u vstupních portů a jejich prvním pinem. Tímto napětím jsou napájeny LED diody a bzučák.

Druhý pin slouží jako spínané uzemnění, které se připíná pomocí tranzistoru. Ten je řízen z pinu mikrokontroléru. Je-li připojen bzučák nebo LED diody a dojde k sepnutí tranzistoru, začne mezi prvním a druhým pinem protékat proud. Výsledkem jsou svítící diody nebo hlučící bzučák.

Třetí pin je přes rezistor spojen s pinem mikrokontroléru. Na čtvrtém a pátém pinu je připojen výstup z H-můstku. Ten slouží k řízení stejnosměrných motorků. Jedná se o dvojité H-můstky, které jsou schopné řídit nezávisle dva motory současně. Na desce jsou použity dva, kde každý řídí vždy dvojici výstupních konektorů. H-můstky jsou řízeny z mikrokontroléru. Je možné řídit směr otáčení i rychlost otáčení. Poslední šestý pin je shodný s šestým pinem vstupních konektorů. Tedy je na něm připojeno uzemnění baterií.



Obr. 8: Výřez ze schématu původní řídicí jednotky, výstupní porty.

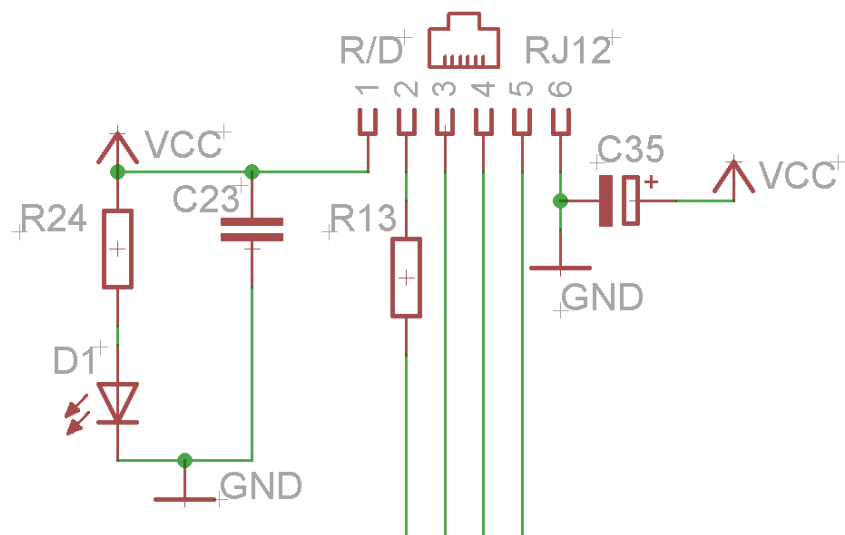
### 1.2.3 Zapojení čtečky čárových kódů

Port čtečky čárových kódů, neboli R/D, je jediný. Nalézá se na stejné straně jako vstupní porty. K tomuto konektoru se připojuje čtečka kódů. Pomocí ní a papírových

kartiček se provádí výběr příslušné lekce s módem v řídicí jednotce. Ten je poté připraven na spuštění pomocí tlačítka „start“.

Jedná se o šesti pinový konektor. Přičemž první a poslední (tedy šestý) pin jsou zapojeny obdobně, jako tomu bylo u vstupních/výstupních konektorů, ale s tím rozdílem, že katoda svítivé diody je zapojena přímo na uzemnění. Tedy svítí po celou dobu, kdy je řídicí jednotka zapnutá.

Druhý pin je přes rezistor zapojen na *RESET* pin mikrokontroléru. Zbylé tři piny tj. tři, čtyři a pět jdou každý na vlastní pin mikrokontroléru. Tento konektor bude nahrazen vstupním konektorem tak, aby vznikly celkem čtyři vstupní a čtyři výstupní. Samotná funkce výběru programu bude zajištěna pomocí grafického LCD displeje a uživatelských tlačítek.



Obr. 9: Výřez ze schématu původní řídicí jednotky, čtečka čárových kódů.

#### 1.2.4 Uživatelská tlačítka

Uživatelská tlačítka slouží jako rozhraní pro ovládání řídicí jednotky. Pomocí nich lze řídicí jednotku uvést do režimu spánku nebo ji z tohoto režimu probudit. Těchto tlačítek je celkem pět a každé z nich má svoji jasně danou funkci.

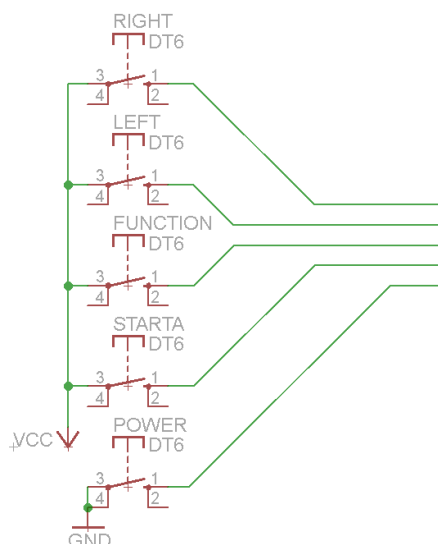
Tlačítko „power“ slouží pro zapnutí či vypnutí řídicí jednotky, respektive k jejímu usnutí či probuzení. To se provede tak, že když není potřeba, aby byla jednotka aktivní, tak se podržením tohoto tlačítka po cca 5 s uvede jednotka do režimu spánku. To je stav, ve kterém jsou všechny vstupní a výstupní zařízení neaktivní, dále jsou

neaktivní i všechny ostatní tlačítka kromě tohoto. Mikrokontrolér také přejde do režimu snížené spotřeby, neboli do „*sleep*“ režimu. V tomto režimu dojde k deaktivaci většiny periférií a mikrokontrolér výrazně omezí svůj takt, díky čemuž se výrazně sníží jeho spotřeba. Opětovná aktivace řídicí jednotky se děje opět podržením tohoto tlačítka. Tlačítko je napájeno z pinu mikrokontroléru pomocí pull-up rezistorů. Pull-up rezistory pracují tak, že dávají měkké napětí, které odpovídá napětí při logické jedničce mikrokontroléru na výstupu, to je přivedeno na tlačítko. Při stisku tlačítka dojde k uzemnění této úrovně a mikrokontrolér toto zaznamená a vyhodnotí.

Tlačítko „*Start*“ slouží ke spuštění vybraného programu. Poté už řídicí jednotka předpokládá kompletní zapojení vstupních/výstupních zařízení a jedná podle toho. Jednotlivé programy vyžadují různé vstupní/výstupní zařízení. Opětovným stisknutím tlačítka dojde k zastavení běžícího programu. Využívá se i v tzv. „*testovacím režimu*“, kde se pomocí něj aktivuje vybraný výstupní konektor. Tlačítko není aktivní, pokud je řídicí jednotka ve „*sleep*“ módu. Tlačítko není napájeno z pull-up rezistorů, ale z pěti voltového stabilizátoru napětí, který je ve „*sleep*“ módu neaktivní.

Stiskem tlačítka „*Function*“ se lze dostat do „*testovacího režimu*“. V tomto režimu je možné testovat funkci vstupních a výstupních zařízení. Zapojení a chování tlačítka je obdobné jako u tlačítka „*Start*“.

Volba v běžícím programu je realizována pomocí tlačítek „*Left*“ a „*Right*“. Každý program je má jinak definovaná a jejich stisknutí vyvolá jinou akci. V jednodušších programech nejsou využity vůbec. Dále jsou používány v testovacím režimu, ve kterém slouží k výběru výstupního konektoru. Tlačítka jsou zapojena a chovají se obdobně jako uvedená předchozí dvě tlačítka.



Obr. 10: Výřez ze schématu původní desky, zapojení uživatelských tlačítek.

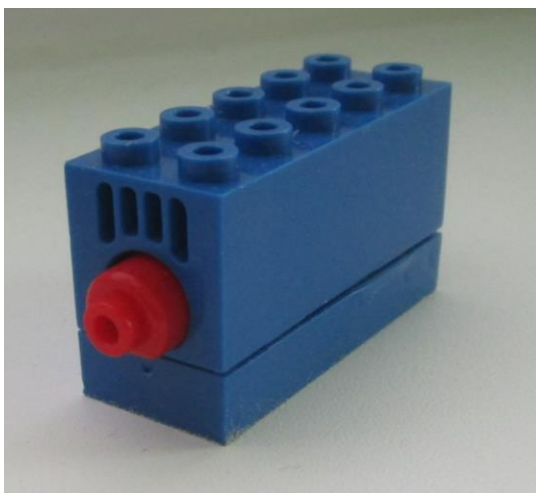
### 1.3 Popis vstupních zařízení

K řídicí jednotce lze připojit celkem tři vstupní zařízení, kterými jsou: tlačítko, akustické čidlo a odrazové čidlo. Všechna vstupní nebo výstupní zařízení se připojují k řídicí jednotce pomocí šesti žilového telefonního kabelu. Tento kabel má na koncích konektory typu RJ12 „male“. Každé čidlo má svůj konektor typu RJ12 „female“ a samozřejmě i řídicí jednotka je tímto vybavena.

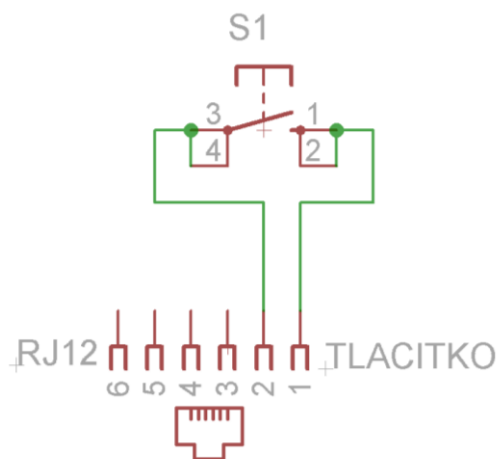
Vstupní nebo výstupní zařízení mají vlastní pouzdra. Tato pouzdra mají tvar kvádrů. Na horní i dolní straně vypadají stejně jako Lego kostičky. Je tedy možné s nimi stavět nebo je spojovat s Lego stavebnicí. Každé čidlo má jinou barvu, ale tvar je stejný, pouze se mění jejich délka, šířka a výška nikoliv.

#### 1.3.1 Tlačítko

Nejjednodušším čidlem je jednoznačně tlačítko. Při jeho stisku dojde ke spojení prvního a druhého pinu vstupního konektoru. To má za následek, že se napětí z pěti voltového stabilizovaného zdroje dostane na pin mikrokontroléru, kde je detekováno.



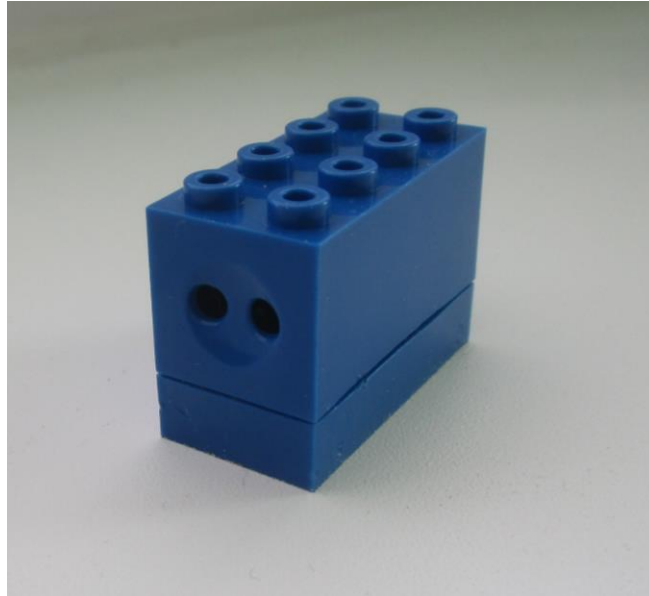
Obr. 11: Tlačítko



Obr. 12: Schéma zapojení tlačítka

### 1.3.2 Akustické čidlo

Jeho funkcí je detekovat akustické vlnění. Toho je docíleno pomocí mikrofону, jehož výstup je přiveden na řídicí pin tranzistoru. Má-li vlnění dostatečnou intenzitu, tak dojde k otevření tranzistoru a následnému propojení prvního a druhého pinu vstupního konektoru.



*Obr. 13: Akustické čidlo*

### **1.3.3 Odrazové čidlo**

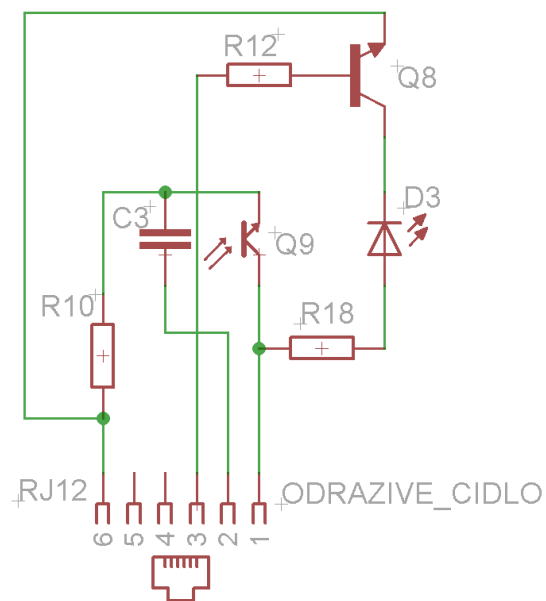
Základem odrazového čidla je svítivá dioda a fototranzistor. Svítivá dioda je řízena třetím pinem vstupního portu, čímž dochází k jejímu blikání. Je-li toto světlo z diody odraženo nějakým předmětem před čidlem, zachytí ho fototranzistor. Ten se při osvětlení otevře a napětí na vstupní elektrodě fototranzistoru projde na výstupní elektrodu a posléze nabíjí kondenzátor, který se po zavření tranzistoru vybije přes druhý pin vstupního konektoru na pin mikrokontroléru.

Matení fototranzistoru okolním osvětlením je zabráněno blikáním svítivé diody. Díky čemuž je jasně definováno, kdy je při případném odrazu očekáván aktivní výstup z čidla a kdy ne.

Svítivá dioda je řízená pomocí tranzistoru, jehož řídicí elektroda je spínána třetím pinem vstupního konektoru. Na tomto pinu je PWM signál z mikrokontroléru. Výstup z fototranzistoru je přiveden na druhý pin konektoru.



Obr. 14: Odrazové čidlo



Obr. 15: Schéma zapojení odrazového čidla

## 1.4 Popis výstupních zařízení

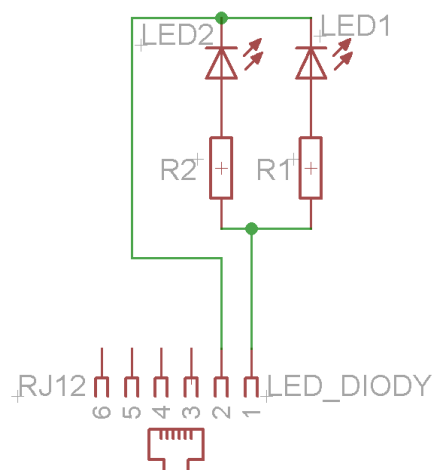
K řídicí jednotce lze připojit celkem tři výstupní zařízení, kterými jsou: stejnosměrný motor, LED diody, bzučák.

### 1.4.1 Svítivé LED diody

Svítivé diody jsou uloženy v průhledném plastovém pouzdře o více popsaném rozměru. Každý modul svítivých diod v sobě obsahuje dvojici svítivých LED diod s předřadnými rezistory. Diody jsou napájeny z prvního pinu výstupního konektoru. Uzemněny jsou na druhém pinu výstupního konektoru, který je spínán tranzistorem. Ten je řízen z mikrokontroléru.



Obr. 16: Svítivé LED diody



Obr. 17: Schéma zapojení svítivých LED diod



### 1.4.2 Bzučák

Toto výstupní zařízení tvoří pouze bzučák s přerušovačem. Ten je schopen generovat pouze jediný tón. Zařízení je napájeno z prvního pinu výstupního konektoru. Uzemněno je na druhém pinu výstupního konektoru. Lze jej tedy řídit stejně jako svítivé diody.



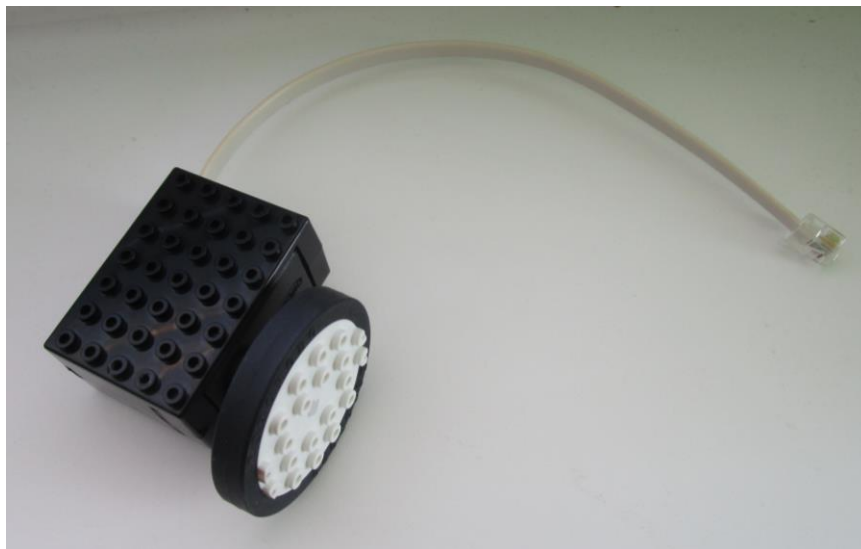
Obr. 18: Bzučák

### 1.4.3 Stejnoseměrný motorek

Pro řízení tohoto zařízení jsou na řídicí desce instalovány dva H-můstky. Každý z těchto můstků ovládá dva výstupní konektory. Jedná se tedy o dvojitý H-můstek. Každá půlka dvojitého H-můstku řídí jeden výstupní konektor, které jsou celkem čtyři. Každá z těchto půlek je řízena dvěma piny z mikrokontroléru, vedoucím přes rezistor na vstupní piny H-můstku. Logickou kombinací na vstupních pinech H-můstku lze nastavit stav výstupních pinů. Přičemž jsou-li na vstupu dvě log. 0 je dvojice výstupních pinů v režimu „Standby“, neboli jsou vypnuty. V opačném případě, tedy je-li na obou vstupech log. 1, přejdou oba výstupní piny do režimu „Brake“ a na obou výstupních pinech je log. 1. Kombinací vstupů, kdy je jeden v log. 1 a druhý v log. 0, se nastavuje směr otáčení.

Ke každému H-můstku jsou připojeny čtyři řídicí piny z mikrokontroléru vedoucí na vstupy. Výstupy z H-můstků jsou vždy na čtvrtém a pátém pinu výstupních konektorů. H-můstek má dva *enable* piny. Ty slouží k řízení rychlosti otáčení motorků.

Ty je možné řídit nezávisle pomocí PWM průběhu. Každý motorek má vlastní řízení otáček, je tedy zapotřebí celkem čtyř PWM modulů. H-můstky jsou napájeny z baterií.



*Obr. 19: Stejnsměrný motorek*

## 2 Nová řídicí jednotka

V této části jsou popsány požadavky, které by měla splňovat nová řídicí jednotka. Výběr a popis elektronických součástek. Popis nové řídicí jednotky, jejích vlastností a funkcí. Nakonec jak byly určité body zadání řešeny a realizovány.

### 2.1 Požadavky na novou řídicí jednotku

Vzhledem k tomu, že nová řídicí jednotka, stejně tak jako stará, bude napájena z baterií, je jedním z hlavních požadavků její energetická nenáročnost. Jednotka bude převážnou dobu životnosti baterií vypnutá a byl tedy kladen požadavek na to, aby v tomto stavu byla spotřeba elektrické energie, co možná nejnižší. Tento aspekt je samozřejmě ještě důležitější při zapnuté řídicí jednotce, kde jedním z bodů zadání je samo-vypínání jednotky.

Je nutné vzít v potaz i fakt, že určité naučné lekce v sobě zahrnují i použití stejnosměrných elektromotorků, které jsou napájeny z baterií. Tyto motorky mají značný odběr – cca 90 mA na jeden plně zapnutý motorek. Celkem je možné zapojit až čtyři motorky.

Výukové lekce ovšem trvají omezenou dobu, cca. 80 minut, při kterých je jednotka v provozu s těmito motorky maximálně 30 minut, a to nejčastěji se dvěma. Tak tedy nedochází při plně nabitých bateriích k jejich úplnému vybití. Poté je řídicí jednotka uvedena do stavu nečinnosti tzv. „*sleep*“ módu, ve kterém je až do další výukové lekce.

Neschopnost energetické nenáročnosti původní řídicí jednotky byla jedním z hlavních motivů k jejímu nahrazení. Další důvodem byla absence smysluplného uživatelského rozhraní. Tím je myšlena zejména absence displeje, který by byl součástí řídicí jednotky a na kterém by byly zobrazovány potřebné údaje. Jako např. číslo a název vybrané lekce, stav baterií, informace ve kterém režimu se řídicí jednotka právě nachází.

Absence vizuální signalizace vlastností a stavu řídicí jednotky je velkým handicapem vzhledem k cílové skupině uživatelů. Tím jsou převážně žáci prvního stupně základní školy, pro které je při určitých lekcích obtížné zjistit, zda je jimi vybraná lekce spuštěná, nebo jestli vybrali správnou lekci a mód. Díky této úpravě dojde ke značnému zjednodušení.

Dalším požadavkem byla schopnost řídicí jednotky se po určitém čase při nečinnosti automaticky vypnout a tím šetřit energii. Realizace by měla probíhat tak, že po určitém časovém úseku v nečinnosti pak řídicí jednotka jednou zapípá. To je první varování. Po dalším časovém úseku jednotka zapípá dvakrát, tedy druhé varování. Tato výstraha se ještě jednou zopakuje se třemi pípnutími. Poté se řídicí jednotka automaticky vypne.

Každá lekce má čtyři různé módy, které úlohy mírně modifikují, a tím umožňují větší variabilitu každé lekce. Změnu mezi těmito módy bude moci volně provádět běžný uživatel. Ale změnu lekcí bude provádět výhradně tzv. „*administrátor*“, nejspíše lektor každé lekce. To by mělo být zajištěno podržením určité kombinace tlačítek po určitou dobu. Díky tomu se z běžného menu dostanete do tzv. „*REC*“ režimu, který slouží k nastavení právě požadované lekce. Po dohodě s vedoucím práce bylo rozhodnuto, že v tomto režimu nebude použita funkce samo-vypínání, jelikož se předpokládá, že do tohoto módu budou mít přístup jen zodpovědné osoby. V tomto režimu nebude možné spouštět ani měnit jednotlivé módy lekcí.

Lekce a módy v původní řídicí jednotce byly řešeny tak, že na port R/D se připojila čtečka čárových kódů a pomocí kartiček s čárovými kódy se vybrala příslušná lekce a její aktuální mód. Každá lekce měla tedy čtyři kartičky, které bylo možno libovolně nahrávat do řídicí jednotky. V té mohl být aktivní pouze jeden mód aktuální lekce. Při změně módu bylo nutné vzít jinou kartičku s lekcí a módem a projet s ní čtečkou čárových kódů. Poté byl proveden výběr jiné lekce a módu. Tento proces se ukázal jako velice zdlouhavý a nepraktický zejména pro cílovou skupinu uživatelů (žáci prvního stupně ZŠ). Proto budou všechny módy a lekce přímo obsaženy v řídicí jednotce, konkrétně tedy v paměti mikrokontroléru, ze kterého bude vždy vybrána požadovaná lekce s módem tak, jak již bylo popsáno výše.

## 2.2 Výběr mikrokontroléru

Jedním z hlavních požadavků je energetická nenáročnost. Proto bylo potřebné vybrat takový mikrokontrolér, který tomu bude co nejlépe odpovídat. Požadavků na mikrokontrolér byla celá řada a ty hlavní z nich zde budou zmíněny.

Aby bylo možné v této práci vůbec použít grafický LCD displeje je potřeba ho řídit. Řízení grafických displejů se nejčastěji provádí pomocí sériové linky. V této práci se používá grafický LCD displej, který komunikuje přes SPI rozhraní. Další požadovanou periferií pro mikrokontrolér byl tedy SPI modul.

Pro řízení otáček stejnosměrných motorků, respektive pro řízení H-můstků, které řídí tyto motorky a jejichž prostřednictvím je možné řídit otáčky motorků, je zapotřebí čtyř PWM modulů. Bez těchto modulů by nebylo možné efektivně regulovat otáčky motorků, což je v této práci také požadováno.

Ke všem těmto periferiím bylo zapotřebí mít dostatečný počet časovačů. Každá periferie potřebuje svůj vlastní časovač, což je celkem pět časovačů. K tomu je nutné přičíst ještě jeden časovač pro realizaci samo-vypínání řídicí jednotky, respektive uvedení se při nečinnosti do režimu spánku. V tomto stavu je minimalizován energetický odběr z baterií. Je tedy zapotřebí alespoň šesti časovačů.

Snímání analogových hodnot z výstupů vstupních zařízení bude zprostředkováno pomocí A/D převodníku. Je tedy nezbytné, aby tuto periferii měl mikrokontrolér zabudovanou, což je ovšem v této době samozřejmostí. K tomu se váže požadavek na dostatečný počet analogových portů. Je zapotřebí alespoň pěti portů – čtyři pro snímání vstupních zařízení a jeden pro snímání napětí z baterií.

Detekce stisknutí uživatelských tlačítek je realizována pomocí změny logické úrovně, kde jeden pin bude spojen s uzemněním, druhý bude přes rezistor spojen s pinem mikrokontroléru. Na tomto pinu bude realizována pomocí „pull-up“ rezistorů „měkká“ vysoká úroveň napětí. Tyto „pull-up“ rezistory bývají obsaženy jako další periferie některých mikrokontrolérů. Zapotřebí je také, aby změna úrovně na těchto pinech vyvolala přerušení a tím probudila mikrokontrolér z režimu spánku. Což je velmi užitečná funkce, která je v této práci využita.

V rámci co možná největší jednoduchosti zapojení a dobrých výkonů mikrokontroléru byl požadavek na dostatečně výkonný interní oscilátor. Po zkušenostech s řízením grafického LCD displeje se ukázala jako ideální taktovací frekvence mikrokontrolérů řady PIC18 16 MHz. Tato frekvence je dostatečná pro pohodlné zobrazování na grafickém LCD displeji a zároveň uživatel není obtěžován pomalým překreslováním displeje, které je při nižších taktovacích frekvencích viditelné a působí neesteticky. Bylo by tedy vhodné, kdyby nový mikrokontrolér splňoval i toto. Vyšší frekvence je zbytečná – zvedla by se spotřeba a to není žádoucí.

Aby bylo možné celou řídicí jednotku řídit pouze jedním mikrokontrolérem, je zapotřebí dostatečného počtu vstupně/výstupních portů. Čehož se docílí volbou vhodného typu mikrokontroléru. V tomto ohledu se ukázal jako nejvhodnější typ TQFP

64 nebo 80. Tyto pouzdra obsahují pájecí nožičky, kde na každém pinu díky nim je možné mikrokontrolér snadněji napájet na plošný spoj s hřebínkem, který slouží jako redukce pro zasazení do nepájivého kontaktního pole.

Napájení mikrokontroléru zprostředkuje 3,3V napěťový stabilizátor. Ten byl vybrán vzhledem k výstupnímu maximálnímu a minimálnímu napětí z baterií. Zařízení musí být schopné na tomto napětí bezchybně fungovat.

Ze zadání také vyplývá, že mikrokontrolér musí být od firmy Microchip konkrétně z modelové řady PIC18. Těmto kritériím nejlépe vyhověl, i s přihlédnutím k ceně, mikrokontrolér s označením PIC18F67K22. Jedná se o moderní mikrokontrolér, jehož velkou výhodou je možnost vypínání jednotlivých periférií, čímž lze snížit spotřebu v zapnutém režimu. Dále má dostatečně velkou programovou paměť, 12b A/D převodník, sedm CCP modulů (pomocí nichž se realizuje PWM) a tři ECCP (možnost mimo jiné realizovat vylepšený PWM průběh), 16MHz interní oscilátor, dva SPI moduly a celkem 11 časovačů. Kladené požadavky tedy splňuje a v mnoha ohledech překonává.

### **2.3 Návrh nové řídicí jednotky**

Při návrhu nové řídicí jednotky se vycházelo z té původní. Bylo to nezbytné vzhledem k požadavku zpětné kompatibility nové řídicí jednotky s původními vstupně/výstupními zařízeními. Měl by být zachován počet vstupních a výstupních portů s tím rozdílem, že bude port R/D nahrazen jedním vstupním portem. Dojde tedy ke zrušení čtečky paměťových karet. Tím vzniknou čtyři porty vstupní a čtyři výstupní.

Nová řídicí jednotka by měla být kompatibilní, i co se týká rozměrů a rozmístění součástek. Po domluvě s vedoucím práce bylo rozhodnuto, že bude nová řídicí jednotka vsazena do původního krytu staré řídicí jednotky. Díky čemuž nebude nutné vyrábět nový kryt. S tímto požadavkem je spojena i napájecí kompatibilita. Nová řídicí jednotka bude napájena stejně jako ta stará, tedy ze čtyř AA akumulátorů (baterií).

Budou vytvořeny dvě napájecí úrovně. Hlavní napájecí úroveň bude přímo z baterií. Tato úroveň bude v rozmezí maximálního nabití baterií 5,3V až do minimální úrovně, která byla stanovena na 4,5V. Tato minimální úroveň byla určena vzhledem k bateriím a jejich vybíjecím charakteristikám. I když se jedná o minimální úroveň, mají baterie

stále dostatek energie pro bezproblémové napájení celé řídicí jednotky a stejnosměrných motorků. Ty představují největší zátěž pro baterie. Tato úroveň byla vybrána hlavně z důvodu šetrnosti k bateriím, jelikož se používají nabíjecí akumulátory.

Další napájecí úroveň je 3,3V napěťový stabilizátor, který je napájen z baterií. Tato úroveň napětí byla záměrně vybrána, a to hned ze dvou důvodů. Za prvé se jedná o běžné napětí pro napájení mikrokontrolérů a stabilizátory jsou dostupné. A za druhé je toto napětí dostatečně nízké, kdy i při minimální úrovni napětí baterií (4,5 V) je stabilizátor stále bezpečně schopen napájet mikrokontrolér. Tato napájecí úroveň se v této práci používá výhradně pro mikrokontrolér.

## 2.4 Vstupní porty

Při návrhu a realizaci těchto portů byl kladen důraz hlavně na zpětnou kompatibilitu s původními zařízeními a také na energetickou úspornost. Tyto podmínky se zohlednily tak, že došlo k úpravě napájecího obvodu každého portu.

Původní řídicí jednotka měla na prvním pinu každého vstupního portu napětí ze stabilizátoru. Toto napětí nebylo nijak kontrolováno, tudíž zde bylo i tehdy když byla řídicí jednotka v režimu spánku. Toto zapojení může v určité situaci, respektive při určitém zapojení, vést k rychlejšímu vybíjení baterií, nebo dokonce k poškození řídicí jednotky.

Proto bylo v této práci přistoupeno k ošetření vybrané skutečnosti. To spočívá v přidání tranzistoru. Tento tranzistor bude spínán mikrokontrolérem. Dojde-li k vypnutí řídicí jednotky tak mikrokontrolér zavře tento tranzistor a všechny zařízení, které jsou tímto napětím napájeny, jím již nebudou napájeny. Tím se eliminují i drobné energetické ztráty a zvýší se kontrolovatelnost a bezpečnost celého zapojení.

Druhý pin složí jako vstupní do mikrokontroléru. Tedy vstup signálu ze vstupních zařízení (spínač, odrazové a akustické čidlo). Tento signál byl u původní řídicí jednotky veden na dva piny mikrokontroléru. Jeden z těchto pinů byl vždy digitální, patrně s TTL logikou, a druhý byl analogový. Bylo zapotřebí na všechny čtyři porty celkem osm vstupních pinů mikrokontroléru. Dle potřeby byl vybrán vždy jeden z těchto portů, buď digitální, nebo analogový, a tak byla snímána hodnota ze vstupního zařízení. V této práci bylo od této realizace odstoupeno. Po testování různých typů zapojení a realizace

bylo zjištěno, že nejvhodnější a nejpřesnější volbou bylo výstup z tohoto pinu vést na dělič napětí cca 6/10, ze kterého šel signál dále na analogový vstup mikrokontroléru.

Dělič napětí je nezbytný a to z důvodu, že je-li vstupním zařízením spínač, tak po jeho sepnutí dochází k přivedení napětí z prvního pinu (při plném nabití baterií až 5,2 V) na druhý pin. Při absenci děliče napětí by toto napětí šlo přímo na analogový vstup, který má maximální toleranci napájecího referenčního napětí A/D převodníku + 0,5 V. Referenční napětí A/D převodníku je 3,3 V. Tedy maximální vstupní napětí analogového vstupu může být 3,8 V. Je tedy zřejmé, že by došlo k poškození analogového vstupu respektive celého A/D převodníku.

Naopak je-li vstupním zařízením odrazové či akustické čidlo, je nutné snímat nízké hodnoty napětí. Tyto hodnoty napětí se pohybují okolo 1,5 – 2,0 V. Zde je naopak potřebné tento vstupní signál co nejméně dělit. Vstupní dělič byl navržen tak, že při maximálním vstupním napětí 5,2 V bude na děliči napětí 3,25 V. Což je bezpečné napětí pro A/D převodník. Toto řešení v sobě zachovává 0,5 V tolerance pro případné přepětí.

Jak již bylo popsáno, signál na druhém pinu je přes dělič napětí přiveden na analogový vstup. Zde je snímán 12 bitovým A/D převodníkem. Poté je možné s touto informací volně pracovat. Toto řešení přineslo jednak úsporu druhého pinu, který byl v původním řešení potřeba pro snímání digitálního signálu a dále zvýšení citlivosti jak odrazového čidla, tak i akustického čidla.

Na třetím pinu se nachází vstupní signál pro odrazové čidlo. Tímto signálem se rozsvěcí svítivá dioda. Takto je možné v rychlém sledu kontrolovaně blikat se svítivou LED diodou na odrazovém čidlu. Což umožňuje snímat výstupní signál z odrazového čidla na druhém pinu v době, kdy nesvítí LED dioda a kdy naopak svítí. Z výsledných hodnot je poté možné vyhodnotit, zda dochází k odrazu světla z LED diody, nebo ne. S vyhodnocením odrazu je spojeno i případné optické rušení. Tím je myšlen například sluneční svit, zářivkové osvětlení místnosti nebo osvětlení místnosti pomocí standardních žárovek. Vůči všem těmto optickým rušením je tato realizace s programovým ošetřením imunní.

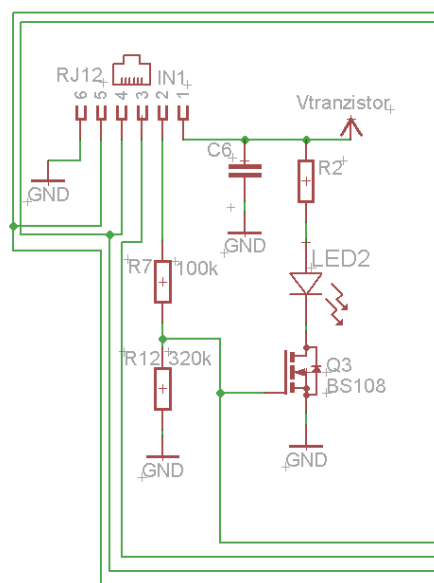
Čtvrtý a pátý pin jsou ve všech vstupních pinech spojeny a přivedeny na jediný digitální vstup/výstup. Jde o přípravu na realizaci dálkového ovladače, respektive bezdrátového přijímače.



Poslední šestý pin představuje tak jako v původním návrhu uzemňovací pin. V tomto případě jsou vstupní a výstupní porty shodné. Na všech prvních pinech je napětí z baterií a na posledních, tedy šestých pinech, je uzemnění.

Původní vstupní porty měly optickou signalizaci aktivity. Ta byla realizována pomocí LED diod, které byly zapojeny tak, že anoda je napájena přes rezistor, který omezuje proud diodou, a katoda LED diody je přivedena na pin mikrokontroléru. Toto zapojení je nevýhodné hned ve dvou ohledech. Zprv je nutné použít pin mikrokontroléru, který by mohl být využit jinak, a za druhé je zde nebezpečí překročení maximálního výkonu na pinu/pinech mikrokontroléru při sepnutí všech LED diod současně.

Obou těchto nevýhod se tato práce snažila vyvarovat. LED diody jsou spínány přes unipolární tranzistor na zem. Přičemž ten není řízen pinem mikrokontroléru, ale je řízen napětím na druhém pinu vstupního portu. Díky tomu, že zde bude použit signálový unipolární tranzistor, je jeho spínací napětí nízké. Je možné ho sepnout poměrně nízkým napětím cca 2,5 V, což je dostačující. Nehrozí na něm ani oslabování napětí z výstupu čidla, díky velkému vstupnímu napětí unipolárních tranzistorů.



Obr. 20: Výřez ze schématu nové řídicí jednotky, schéma zapojení vstupního portu

## 2.5 Výstupní porty

Všechny výstupní porty byly realizovány tak, aby splňovaly kritérium zpětné kompatibility s původními výstupními zařízeními. Výstupní zařízení jsou celkem tři a to stejnosměrný motor, LED diody a bzučák s přerušovačem.

Výstupní porty mají stejně jako vstupní porty na prvním pinu napájecí napětí z baterií a na posledním pinu uzemnění baterií. V tomto ohledu jsou tedy stejné jako vstupní porty.

První pin je tedy napájecí pro dvě výstupní zařízení. Těmi jsou LED diody a bzučák s přerušovačem. Toto napětí je spínané přes unipolární tranzistor, o kterém bylo psáno v kapitole *Vstupní porty*. K prvnímu pinu je přes rezistor ještě připojena LED dioda. Katoda této diody není přivedena na uzemnění ale na *Drain* elektrodu tranzistoru. Ten je řízen z mikrokontroléru a jeho *Source* elektroda je připojena na uzemnění.

V pořadí druhý pin slouží k ovládní LED diod a bzučáku s přerušovačem. To je realizováno pomocí unipolárního tranzistoru ovládaného pinem mikrokontroléru. Ten je zapojen tak, že na *Drain* elektrodu tranzistoru je přiveden právě druhý pin. Na *Gate* elektrodu je přiveden řídicí signál z mikrokontroléru. *Source* elektroda je přivedena na uzemnění. Při přivedení log. 1 (3,3 V) z mikrokontroléru je unipolární tranzistor sepnut a spojí druhý pin s uzemněním. Čímž umožní protékání proudu a výsledkem je buď rozsvícení LED diod, nebo pískot v případě bzučáku s přerušovačem.

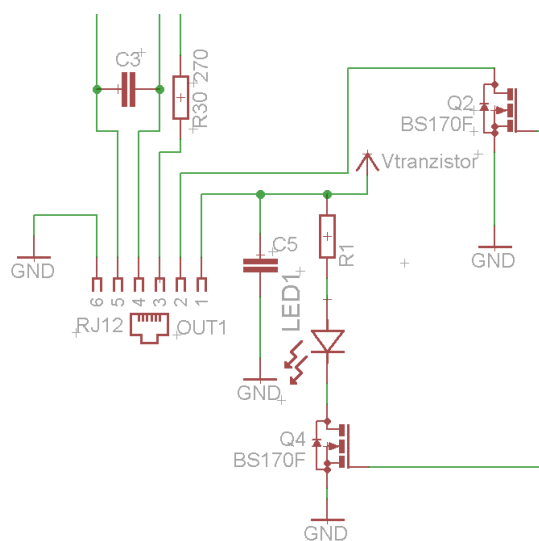
Zapojení třetího pinu bylo realizováno stejně, jako tomu bylo u původní řídicí desky. Tam byl výstup z pinu veden přes rezistor na pin mikrokontroléru. Nebyla nalezena souvislost mezi tímto pinem a funkcí některého z výstupních zařízení. Je možné, že výrobce původní řídicí desky si tuto možnost ponechal pro budoucí rozšíření výstupních zařízení.

Čtvrtý a pátý pin mají společnou funkci a tou je ovládní stejnosměrného motorku. Toto ovládní je realizováno pomocí H-můstků. Díky tomu je možné řídit jak směr otáčení, tak i rychlost otáčení. V této práci jsou použity celkem dva H-můstky na čtyři výstupní porty. Tedy vždy jeden H-můstek slouží k řízení dvou portů. První H-můstek řídí porty jedna a dva, druhý řídí porty tři a čtyři. Tato realizace šetří místo na tištěném spoji oproti použití čtyř H-můstků. Mezi každým čtvrtým a pátým pinem je zapojen kondenzátor. Ten slouží k odrušení. Každá půlka H-můstku obsahuje dva řídicí piny, jeden *enable* pin napájecí a zemnicí pin pro danou polovinu H-můstku.

Pomocí dvou řídicích pinů se nastavuje stav výstupních. Přičemž když je na obou řídicích pinech nízká úroveň napětí, tedy log. 0, tak je na výstupních pinech taktéž 0 V. Je-li na jednom z řídicích pinů přivedena log. 1 pak je na jeden z výstupních pinů, v závislosti na vstupním pinu, přivedeno napájecí napětí H-můstku a dochází k otáčení motorku. Přivede-li se na oba vstupní piny log. 1 je na obou výstupních pinech napájecí napětí. Toho se dá využít k brždění motorku.

Pinem, kterým se dá regulovat rychlost otáčení motorku, je pin *enable*. Na tento pin je připojen výstup z pinu mikrokontroléru, na kterém je realizováno PWM. Podle třídy vstupního signálu na *enable* pinu se řídí rychlost otáčení motorku. Každý H-můstek má dva *enable* piny (pro každý motorek zvlášť). Což umožňuje na sobě nezávislé řízení všech motorků. Je tedy nutné mít k dispozici celkem čtyři nezávislé PWM moduly v mikrokontroléru. To je v této práci zajištěno.

Poslední šestý pin je připojen ke GND. Je tomu tedy stejně jako u původní řídicí jednotky.



Obr. 21: Výřez ze schématu nové řídicí jednotky, schéma zapojení výstupního portu

## 2.6 Energetická nenáročnost

Energetická nenáročnost je v této práci zajištěna díky mnoha opatřením. Tyto opatření se dají rozdělit na dvě základní, a to hardwarová a softwarová. Největší energetické úspory bylo dosaženo díky hardwarovým úpravám.

Mezi hlavní hardwarová opatření patří přidání tranzistorů spínaných pinem z mikrokontroléru. Díky čemuž bylo možné v zapnutém režimu při nespuštěné lekci mít od napájení odpojené určité prvky, na kterých docházelo k největším energetickým ztrátám. Popřípadě tyto prvky zapínat jen tehdy, kdy je jich skutečně zapotřebí a většinu času je mít odpojené.

Tato vlastnost je ještě důležitější při uvedení řídicí jednotky do režimu „*sleep*“. V tomto režimu je potřeba napájet pouze mikrokontrolér, který detekuje stisknutí uživatelských tlačítek. Stará se i o to, aby tranzistory, které napájejí v tuto chvíli nepotřebné obvody, byly rozepnuté. Díky tomu je možné velmi podstatně snížit spotřebu. Výsledkem je, že jediné zařízení, které má v režimu „*sleep*“ měřitelný odběr je právě mikrokontrolér.

V návrhu nové řídicí jednotky se používají tři tranzistory, respektive třikrát zapojené dva tranzistory (kvůli řízení), které jsou řízeny pinem z mikrokontroléru a na kterém je díky vhodné volbě tranzistorů a jejich zapojení minimální úbytek napětí v sepnutém režimu (zhruba 8 mV). V rozepnutém režimu jimi naopak neprotéká téměř žádný proud (datasheet [3] udává 250 $\mu$ A). Maximální proud protékající tímto zapojením by měl být 7,2 A, což je pro účely této práce více než dostačující.

Toto zapojení dvou tranzistorů je použito na třech místech v obvodu. První oblastí je napájení všech běžných periférií, bzučáku integrovaném na řídicí jednotce a všech pinů, ať už vstupních či výstupních. Tento tranzistor je při zapnutí řídicí jednotky sepnut a napájí obvody k němu připojené. V režimu „*sleep*“ je rozepnut.

Zbývající dvě zapojení jsou umístěna u dvou H-můstků, kde každé spíná jeden H-můstek. Toto je oblast, kde v původním návrhu docházelo ke značným ztrátám díky nedokonalému zavření tranzistorů uvnitř H-můstku. V důsledku toho jím protékal proud z baterií na uzemnění (zkratový proud), díky čemuž vznikaly takto vysoké ztráty. Tato skutečnost byla ověřena a změřena na H-můstku L293NE od firmy Texas Instrument. Při přivedení nulového potenciálu na všechny řídicí piny včetně *enable* pinu, protékal obvodem proud o hodnotě 10 mA. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k ošetření uvedené vlastnosti přidáním tranzistorů, které spínají napájení na tyto H-můstky.

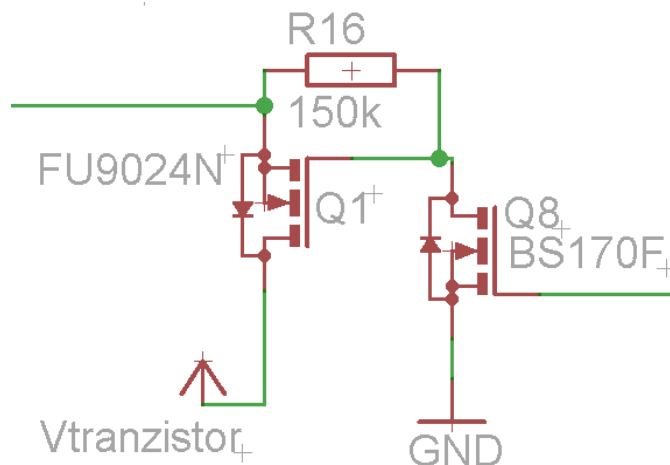
Ke spínání každého z H-můstků a periférií je použita dvojice tranzistorů. Ty jsou zapojeny tak, že hlavní unipolární „výkonový“ tranzistor je P-kanálový MOSFET s vodivým kanálkem. Ten funguje tak, že pokud není na *Gate* elektrodu přivedeno

žádné napětí, protéká tranzistorem proud. Je-li ale na tuto elektrodu přivedeno napětí, dojde k uzavření přechodu a mezi *Source* a *Drain* elektrodami neprotéká žádný proud.

Druhý tranzistor je unipolární N-kanálový MOSFET. Ten je navržen tak, aby byl sepnut nejpозději při napětí 3,00V. Slouží jako pomocný řídicí tranzistor. Je řízený z pinu mikrokontroléru.

Tranzistory jsou zapojeny tak, že napětí z baterií je přivedeno na *Source* elektrodu „výkonového“ tranzistoru. Toto napětí je přes rezistor přivedeno i na jeho *Gate* elektrodu. Ta je připojena na *Drain* el. řídicího tranzistoru, jehož *Gate* el. je připojena k pinu mikrokontroléru, pomocí kterého je i řízena. *Source* el. řídicího tranzistoru je připojena na uzemnění. *Source* el. „výkonového“ tranzistoru slouží jako výstupní napájecí napětí příslušného obvodu.

Je-li tedy na *Gate* el. řídicího tranzistoru přivedeno napětí z mikrokontroléru (log. 1, 3,33 V) dojde k jeho sepnutí a uzemnění napětí na *Drain* el. řídicího a *Gate* el. „výkonového“ tranzistoru. Ta přestane ochuzovat vodivý kanálek mezi *Source* a *Drain* elektrodami. Díky čemuž může tranzistorem protékat proud a napájet tak obvody k němu připojené.



Obr. 22: Výřez ze schématu nové řídicí jednotky, schéma zapojení tranzistorů

## 2.7 Měření napětí

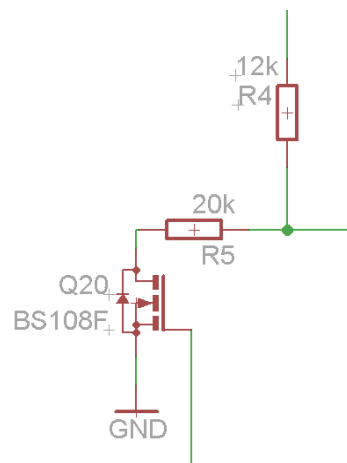
Tato funkce je zajištěna pomocí 12 bitového A/D převodníku. Ten ale nemůže snímat napětí přímo z baterií, jelikož nemá dostatečnou napěťovou referenci. Místo ní bylo zvoleno napájecí napětí mikrokontroléru, tedy napětí ze stabilizátoru. Jelikož není potřeba nijak velká přesnost měření, tato reference postačí. Toto napětí navíc nebude v závislosti na poklesu napětí na bateriích kolísat, protože byl vybrán takový stabilizátor, který má nízké minimální vstupní napětí. Napěťová reference je tedy 3,3 V.

Jelikož je toto napětí nižší, než maximální napětí baterií, byl v tomto případě použit dělič napětí. Jeho hodnoty jsou  $R_1 = 12 \text{ k}\Omega$  a  $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$ . Díky tomu se napájecí napětí 5,2 V změní na 3,25 V na děliči. Je zde i rezerva, protože čerstvě nabitá baterie mají napětí 5,4 V, ale tyto hodnoty velice rychle poklesnou na 5,2 V.

Aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám v podobě proudu protékajícího přes dělič na uzemnění, není dělič připojen přímo na uzemnění ale na *Drain* el. řídicího tranzistoru. Jeho *Gate* el. je řízena mikrokontrolérem a *Source* el. je připojena na zem.

Přechodový odpor sepnutého tranzistoru je natolik malý ( $8 \Omega$ ), že se zanedbává. Vzhledem ke 2500 krát většímu odporu  $R_2$ . Tento tranzistor je sepnut pouze probíhá-li měření napětí baterií. Díky tomu se eliminují zbytečné ztráty elektrické energie z baterií.

Vždy, když probíhá měření napětí baterií, neprobíhá jednou ale desetkrát. Tím se eliminují případné chybně změřené hodnoty. Výsledná hodnota je průměrem z těchto hodnot. Mezi jednotlivými měřeními mikrokontrolér čeká cca 1 ms. Než započne samotné měření je sepnut tranzistor na děliči a program čeká cca 100 ms na ustálení hodnoty napětí. Tento postup se ukázal jako nejspolehlivější a nejefektivnější. Byly vyzkoušeny i jiné postupy, ty ale neměly tak dobré výsledky.



Obr. 23: Výřez ze schématu nové řídicí jednotky, schéma zapojení děliče napětí

## 3 Software nové řídicí jednotky

Zde budou popsány základní funkce a algoritmy potřebné k realizaci této práce. Program pro mikrokontrolér byl vytvořen pomocí vývojového prostředí MPLAB® X IDE v jazyce C pro mikrokontroléry. Jedním bodem zadání práce bylo mimo jiné připravit základy pro budoucí sestavování jednotlivých lekcí. V této části budou tyto funkce popsány.

### 3.1 Měření a vyhodnocení napětí z baterií

Funkce, která obstarává měření napětí baterií a jeho vyhodnocení se nazývá *Cidla\_otestuj\_baterku()*. Jedná se o komplexní funkci, protože změří, vyhodnotí a zobrazí výsledky na grafický LCD displej. Jako signalizace úrovně baterie je v této práci použita ikonka baterie. Tato ikonka má v sobě čtyři obdélníčky – pokud je stav baterií na 100 % – 75 % je baterie plná; je-li tato úroveň mezi 75 %-50 % jeden čtvereček chybí atd. Dojde-li tato úroveň pod 25 %, funkce signalizuje vybití baterií. To je realizováno tak, že ikonka baterie třikrát zabliká a do toho zapíská pomocí bzučáku umístěného na řídicí jednotce. Funkce je napsaná tak, aby při každém měření vrátila naměřenou hodnotu jako šestnáctibitové číslo. Díky tomu je možné s ním dále pracovat.

Samotný běh funkce je následující. Sepne se tranzistor na děliči, na kterém je umístěn měřicí pin, díky tomu může děličem protékat proud. Poté program počká cca 100 ms na ustálení hodnoty. Následně provede deset měření s časovým rozestupem 10 ms. Pak rozepne tranzistor, aby jím, v době kdy se neměří, zbytečně neprotékal proud. Následně hodnoty zprůměruje.

Po ukončení měření funkce vyhodnotí výsledky. To je provedeno pomocí funkce *Switch()*. Neproběhlo-li ještě měření od zapnutí mikrokontroléru, je proměnná *Baterka\_uroven* rovna nule. Díky čemuž skočí do rozřazování s ostrými hranicemi a bez oblastí s necitlivostí. Zde se zapíše určité číslo do proměnné *Baterka\_uroven* v závislosti na tom, jaká je úroveň napětí baterií.

Pokud již proběhlo měření a jedná se o měření v průběhu běhu programu, je známá předchozí hodnota napětí. Ta je uložena v proměnné *Baterka\_uroven*. Tehdy program přejde na vyhodnocení napětí, ale už bez ostrých hranic a s oblastí necitlivosti mezi jednotlivými úrovněmi. Pokud spadne naměřená hodnota do oblasti necitlivosti,



je zachována předchozí hodnota, tedy nedojde ke změně. Aby se hodnota změnila, musí o určitou část překročit hranici, pak je uznána platnou, jinak spadne do oblasti necitlivosti. Tím je ošetřeno, aby při průběžných měřeních přeskakovala hodnota úrovně baterií pouze mezi dvěma stavy.

Po nastavení proměnné *Baterka\_uroven* přejde program k zobrazení hodnoty na grafický LCD displej. Je-li hodnota moc nízká, provede upozornění na nízký stav baterií, který je popsán na začátku této kapitoly. Nakonec vrací zprůměrovanou hodnotu naměřenou A/D převodníkem.

### 3.2 Měření a vyhodnocení výstupu ze vstupních zařízení

Funkce k tomuto vyhodnocení jsou celkem čtyři. A to *Otestuj\_port1\_ANX* - *Otestuj\_port4\_ANX*. Funkce vrací datový typ *bool* a jeho hodnota záleží na tom, jak se vyhodnotí vstup z čidel. Jako parametr při volání této funkce se zadává číslo analogového portu, na který je čidlo připojeno.

Čidla jsou celkem tři: odrazové čidlo, mikrofon a spínač. Funkce postupně testuje výstup na každé z nich. Nejdříve je testováno odrazové čidlo, poté současně mikrofon a spínač. Otestuje-li funkce odrazové čidlo a výsledek po testování je pozitivní, dále se zbylá dvě čidla už netestují a funkce vrací hodnotu *true*.

Odrazové čidlo se testuje tak, že se z něj sejme výstupní signál při zhasnuté LED diodě. Poté se to samé provede s rozsvícenou LED diodou. Tento proces se při jednom měření opakuje pětkrát. Poté se z výsledných hodnot rozhodne, zda je před čidlem objekt či nikoliv.

Testování mikrofonu a spínače probíhá současně, protože jejich výstupní signál je podobný a z hlediska testování jejich výstupů není nutné je rozlišovat. Jedná se o to, zda je naměřená hodnota vyšší než zvolená hranice. Pokud ano, je výsledek pozitivní. Při tom je ale nutné ošetřit nebezpečí toho, že je na vstupu připojeno odrazové čidlo bez odrazu nebo s rušením. To je provedeno tak, že se snímá hodnota dvakrát. Jednou při zdánlivě rozsvícené diodě a jednou při zhasnuté diodě, jelikož se jedním pinem na vstupních portech ovládá rozsvícení LED diody u odrazového čidla. Je-li tato hodnota stejná a překročí zvolenou hranici, jak při „zapnuté“, tak i při „vypnuté“ LED diodě, je možné prohlásit, že na vstupu není odrazové čidlo. A spínač nebo mikrofon je aktivní. Tehdy může funkce vrátit hodnotu *true*, v opačném případě vrací *false*.

### 3.3 Ovládání stejnosměrných motorků

Celkový počet stejnosměrných motorků připojitelných k jednotce je čtyři, pro každý výstupní port jeden. Funkce, pomocí které je možné všechny ovládat, se jmenuje *nastav\_PWM\_Port\_Vykon\_Start*. Tato funkce nevrací žádnou hodnotu, je typu *void*. Při volání této funkce je třeba zadat následující tři parametry.

Prvním parametrem je číslo portu (1-4), na které se má motor nastavit. Zadá-li se jiné číslo než 1-4 dojde k vypnutí všech motorků na všech portech. Takto je tedy možné zastavovat všechny motorky naráz.

Druhým parametrem je výkon. Zde se dají nastavovat různé úrovně rychlosti otáčení. K dispozici jsou čtyři úrovně 100, 75, 50, 25, tyto čísla mají reprezentovat výkon, na který má být nastaven vybraný motorek. Je-li zadána jiná hodnota než jedna z těchto čtyř, dojde k vypnutí motorku na příslušném portu.

Posledním parametrem je směr. Pro tento účel byly definovány dvě proměnné a to *dopředu* a *dozadu*. Proměnná *dopředu* je reprezentována jako 0b01, *dozadu* jako 0b10. Jiná možnost zde není a zapsáním jiné hodnoty než jedné z těchto dvou připravených, vyvolá takový stav funkce, jakému by odpovídala hodnota posledních dvou bitů zapsané hodnoty.

Pomocí této funkce je možné velice snadno řídit stejnosměrné motorky. Byla napsána hlavně s ohledem na budoucí sestavování jednotlivých lekcí na řídicí jednotce. Díky funkci *nastav\_PWM\_Port\_Vykon\_Start*, funkci *Otestuj\_port1\_ANX* a ještě několika proměnných definovaných v programu, bude možné sestavovat jednotlivé lekce jako bloky bez nutnosti vytváření nových funkcí.

## 4 Závěr

### 4.1 Porovnání výsledků se zadáním

**Navrhnete novu řídicí jednotku, která je hardwarově kompatibilní se stávající jednotkou.**

- Po bližším seznámení s původní řídicí jednotkou se na jejím základě navrhla nová řídicí jednotka. Ta je plně hardwarově kompatibilní s původní. Napájena je tak, jako ta původní, a to čtyřmi AA akumulátory nebo bateriemi. Je možné k ní připojit všechny vstupní i výstupní zařízení a jednoduše s nimi pracovat.

**Přidání grafického LCD displeje a ovládacích tlačítek.**

- K nové řídicí jednotce byl přidán monochromatický grafický LCD displej s rozlišením 128 x 32 pixelů. Na tomto displeji se zobrazuje několik údajů. Těmi jsou: úroveň stavu baterie, číslo a název vybrané lekce, vybraný mód k dané lekci a v jakém režimu se řídicí jednotka nachází. Tyto režimy jsou tři: režim „*STOP*“, „*START*“, „*REC*“. Do režimu „*REC*“ se může dostat jen osoba znající „tajnou“ kombinaci stisknutí tlačítek. Vše je ovládáno pomocí čtyř uživatelských tlačítek umístěných na jednotce.

**Naprogramování procesoru tak aby umožnil všechny funkce stávající jednotky.**

- Při programování řídicí jednotky byly vytvořeny funkce, pomocí kterých je možné snadno realizovat všechny funkce původní jednotky. Je zde funkce ošetřující všechny vstupní zařízení a vyhodnocení jejich výstupů. Pomocí další je možné velmi snadno řídit stejnosměrné motorky na výstupních portech. Dá se regulovat směr i rychlost otáčení, popřípadě je možné velice snadno vypnout daný motorek nebo všechny motorky. Ostatní výstupní zařízení je také možné řídit pouze jedinou funkcí.

**Snížení energetické spotřeby a automatické vypínání jednotky.**

- Tento bod nebyl v plném znění v zadání explicitně zadán. Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce bylo rozhodnuto, že jeden z cílů práce je snížení energetické náročnosti. Bylo tedy realizováno automatické vypínání jednotky, to je aktivní

hlavně v režimu „STOP“. V ostatních režimech toho není zapotřebí. Samo-vypínání je realizováno pomocí časovače, který po přetečení vyvolává přerušení. Tento počet přerušení se sčítá. Dojde-li k určitému počtu přerušení, přejde jednotka do režimu spánku. Počet přerušení je resetován vždy při stisku uživatelského tlačítka. Dojde-li ke spuštění lekce, časovač se vypne a vynuluje počet vyvolaných přerušení.

Snížení energetické spotřeby bylo docíleno vhodnou volbou napájecích okruhů a jejich vzájemné nezávislosti a možnosti jednotlivé okruhy při jejich nečinnosti odepnout. Díky tomu bylo možné dojít k následujícím hodnotám. Původní jednotkou v režimu spánku odebírala proud o hodnotě 5,5 mA. Tato hodnota je na režim spánku poměrně vysoká. Nová jednotka má spotřebu v tom samém režimu pouze 435  $\mu$ A, což je více než dvanáct krát méně. Spotřeba v zapnutém režimu bez spuštěné lekce byla u původní jednotky 38 mA. U nové řídicí jednotky bylo dosaženo hodnoty 10,5 mA, navíc je zde napájen i grafický LCD displej.

## 4.2 Využití práce

Po vytvoření několika prototypových tištěných spojů a doladění nezbytných drobností, které nebylo možné odzkoušet na nepájivém kontaktním poli, dojde k postupnému nahrazení původních řídicích jednotek touto nově navrženou. Nový přípravek bude sloužit pro výuku žáků prvního stupně základní školy v programu EduTech. Zde se původní jednotka využívá k výuce robotiky prostřednictvím zájmového kroužku, díky této práci dojde ke zjednodušení práce se stavebnicí ROBOROBO RoboKids. Odpadne pracné vybírání lekcí a módů pomocí kartiček a čtečky čárových kódů. Některé kartičky s lekcemi a módy mají ten problém, že se podle potisku na nich těžko určuje, o jakou se jedná lekci či mód.

Případné rozšíření této práce by mohlo spočívat v realizaci dálkového ovládnání, nebo v přidání nových vstupních či výstupních zařízení.

## Seznam použité literatury a dalších pramenů

- [1] HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C*. 3. upr. vyd. České Budějovice: Kopp, 1994, 269 s. ISBN 8085828219.
- [2] MATOUŠEK, David. *C pro mikrokontroléry PIC: práce s PIC18F452 a PIC18F1220 v jazyce C*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2011, 367 s.  $\mu$ C & praxe. ISBN 978-80-7300-413-2.
- [3] MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED. 2011. *PIC18F87K22 Family Data Sheet* [online]. U.S.A. [cit. 2015-05-10]. ISBN 978-1-61341-272-5. Dostupné z:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39960d.pdf>
- [4] *Mikrokontroléry PIC* [online]. 2012 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://mikrokontrolery-pic.cz/>
- [5] *PmodOLED™ Reference Manual* [online]. 2011. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: [https://digilentinc.com/Data/Products/PMOD-OLED/PmodOLED\\_rm.pdf](https://digilentinc.com/Data/Products/PMOD-OLED/PmodOLED_rm.pdf)
- [6] SOLOMON SYSTECH. 2008. *SSD1306: Advance Information* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <https://www.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf>
- [7] VERLE, Milan. *PIC Microcontrollers: Programming in C*. S.l.: Mikroelektronika, 2009. ISBN 9788684417178.

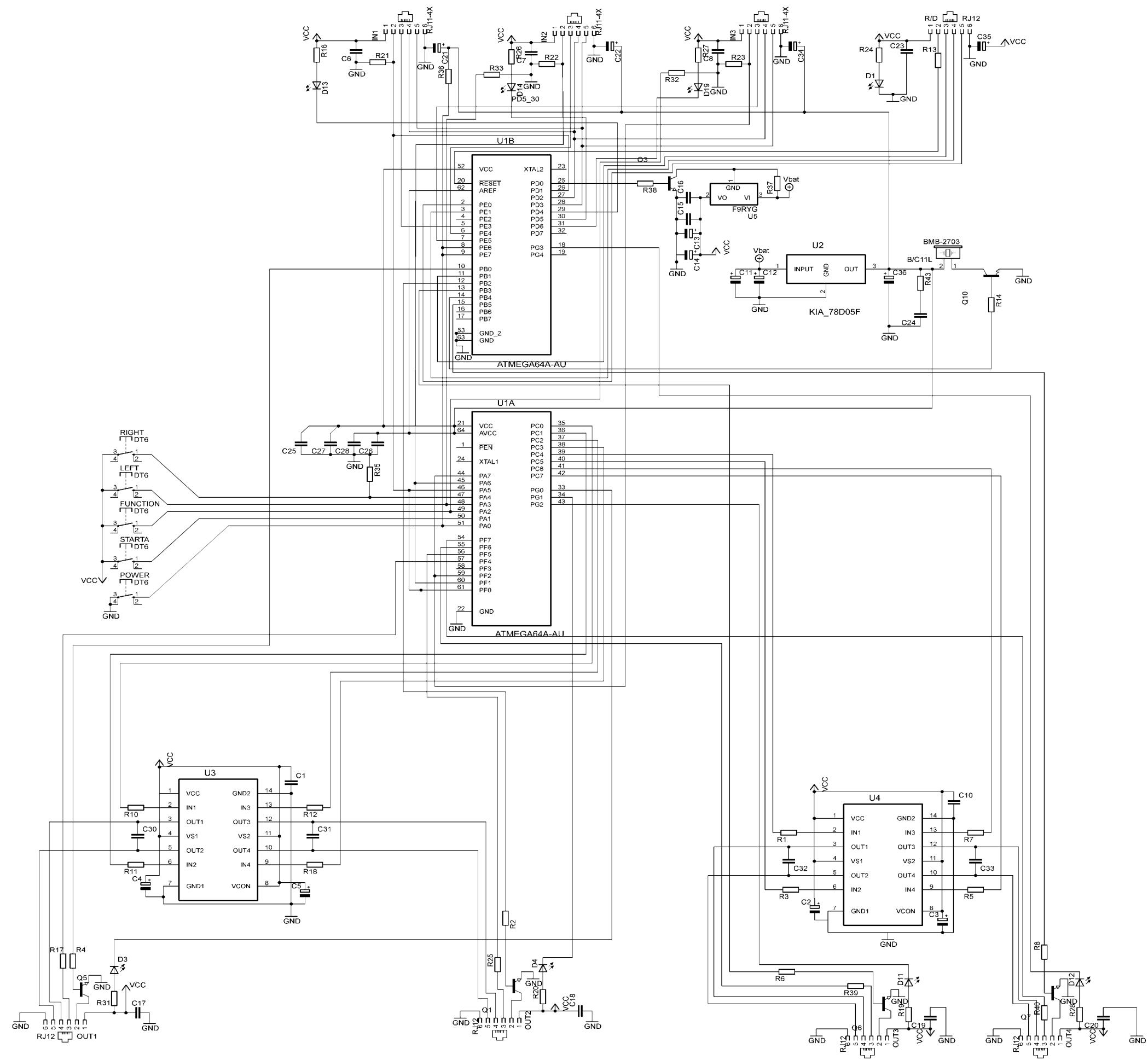
## **Obsah přiloženého CD**

Text bakalářské práce

- Bakalarska\_prace\_2015\_Jiri\_Espandr.pdf

Schéma původní řídicí jednotky ve formátu PNG.

Schéma nové řídicí jednotky ve formátu PNG.



TITLE: RoboRobo_Puvodni_Ridici_Jednotka	
Document Number:	REV:
Date: 12.5.2015 20:40:32	Sheet: 1/1

