

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**ŘÍDICÍ SYSTÉM LABORATORNÍHO MODELU AUTOMATICKÉ
MYCÍ LINKY PRO AUTOMOBILY**

Jiří Tvrdlík

Bakalářská práce
2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONTU)

Jméno a příjmení: Jiří Tvrdlík
Osobní číslo: I11344
Studijní program: B2646 Informační technologie
Studijní obor: Řízení procesů
Název tématu: Řídicí systém laboratorního modelu automatické mycí linky pro automobily
Zadávací katedra: Katedra řízení procesů

Zásady pro vypracování:

Cílem práce bude návrh a konstrukce řídicí elektroniky laboratorního modelu mechatronického systému - automatické mycí linky pro automobily.

Elektronická jednotka bude umožňovat přímé řízení modelu a zároveň bude sloužit jako interface pro připojení PLC automatu. Rozhraní zařízení bude umožňovat přímé připojení PLC automatu, to znamená, že rozhraní bude plně kompatibilní s rozhraním automatu PLC. Software mikropočítače bude umožňovat řízení modelu tak, aby jeho chování kopírovalo chování skutečného zařízení.

Teoretická část:

Seznámení se s funkcí reálného zařízení - automatické mycí linky na automobily.

Seznámení se s funkcí snímačů a akčních členů použitých v reálných zařízeních z pohledu automatického řízení.

Seznámení se stávající konstrukcí laboratorního modelu.

Návrh strategie automatického řízení zařízení typu automatické myčky automobilů.

Implementační část:

Návrh případných úprav mechanické a elektronické řídicí jednotky laboratorního modelu.

Realizace elektronické řídicí jednotky a případných mechanických úprav konstrukce modelu.

Realizace řídicího softwaru mikropočítače řídicí jednotky.

Testování realizovaného zařízení.

Požadavky na studenta:

Základní znalosti z návrhu elektronického systému. Základní znalosti práce v návrhovém softwaru PCB Eagle.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: ☒ tištěná/☐ elektronická

Seznam odborné literatury:

MATOUŠEK D. (2006) Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - 3.díl-edice nF s prací 2.vydání, BEN-technická literatura, Praha 2006

PLIVA Z. (2010) Eagle Prakticky, BEN-technická literatura, Praha 2010

ZÁHLAVA V. (2010) Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, Praha 2010

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Libor Havlíček, Ph.D.

Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce:

14. listopadu 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

9. května 2014

prof. Ing. Simeon Votava, Ph.D.
děkan



L.S.

Ing. Daniel Horák, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2014

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.

V Pardubicích dne 23. 5. 2014

Jiří Tvrdlík

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D za odborné vedení a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Velké poděkování náleží celé mé rodině za podporu, trpělivost a povzbuzování po dobu mého studia.

V Pardubicích dne 23. 5. 2014

Jiří Tvrdlík

ANOTACE

Cílem práce bude návrh a konstrukce řídicí elektroniky laboratorního modelu mechatronického systému – automatické mycí linky pro automobily. Elektronická jednotka bude umožňovat přímé řízení modelu a zároveň bude sloužit jako interface pro připojení PLC automatu. Rozhraní zařízení bude umožňovat přímé připojení PLC automatu, to znamená, že rozhraní bude plně kompatibilní s rozhraním automatu PLC. Software mikropočítače bude umožňovat řízení modelu tak, aby jeho chování kopírovalo chování skutečného zařízení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Řízení stejnosměrných motoru, Mycí linka, Mikroprocesor, I2C.

TITLE

THE CONTROL SYSTEM FOR LABORATORY MODEL OF AUTOMATIC CAR WASH.

ANNOTATION

The aim of this work is the design and construction of control electronics of a laboratory model of a mechatronic system – an automatic car wash. The electronic unit will allow direct control of the model and will also serve as an interface for connecting of a PLC. The interface of the device will allow direct connection of a PLC, which means that the interface will be fully compatible with the PLC interface. Microcomputer software will allow control of the model in exactly the same way in which a real device would behave.

KEYWORDS

DC Engine control, Car wash, Microprocessor, I2C

Obsah

Seznam obrázků.....	10
Seznam tabulek.....	12
Seznam zkratk.....	13
Seznam symbolů.....	14
Úvod.....	15
1 Mycí linka pro automobily – historický vývoj	16
1.1 Rozdělení automatických mycích linek	17
1.1.1 Portálové mycí linky	17
1.1.2 Tunelové mycí linky	19
1.1.3 Bezkontaktní mytí.....	19
2 Funkce snímačů a akčních členů použitých v reálných zařízeních z pohledu automatického řízení	20
2.1 Pohyb portálu	20
2.2 Vodorovné a svislé kartáče	20
2.2.1 Vodorovný kartáč.....	20
2.2.2 Svislé kartáče	21
2.3 Sušení.....	21
2.4 Přívod vody a vzduchu a systém dávkování chemických prostředků.....	21
2.4.1 Přívod vody	21
2.4.2 Přívod vzduchu	21
2.4.3 Dávkování chemických prostředků.....	21
2.5 Doplnkové vybavení	22
2.5.1 Seřizovač kol.....	22
2.5.2 Myčka kol	22
2.5.3 Robowash.....	22
2.5.4 Myčka podvozku.....	23

3	Realizace elektronické řídicí jednotky.....	24
3.1	Mikroprocesor	25
3.1.1	A/D převodník	27
3.1.2	Čítač/časovač	33
3.1.3	Sběrnice I2C.....	35
3.2	H-můstek.....	40
3.3	Stejnoseměrný motor	41
3.4	Operační zesilovač	43
3.4.1	OZ LM358	43
3.4.2	Operační zesilovač	43
3.5	Displej a klávesnice	48
3.5.1	Ovládání displeje	48
3.5.2	Ovládání klávesnice	49
3.6	Světelná závora a dálkoměr	50
3.6.1	Světelná závora	50
3.6.2	NE555 a TSOP4836.....	51
3.6.3	Dálkoměr.....	52
3.7	MAX 232	53
3.8	Napájení	53
3.8.1	Spínaný DC-DC měnič s obvodem MC34063.....	53
3.8.2	Stabilizátor 78S05	54
4	Realizace řídicího software mikropočítače řídicí jednotky	55
4.1	Příprava linky	55
4.2	Vjezd automobilu.....	56
4.3	Proces mytí.....	56
4.4	Výjezd automobilu	56
5	Realizace řídicí elektroniky	57

5.1	Master.....	57
5.1.1	Displej.....	57
5.1.2	Zdroj 5 V.....	58
5.1.3	Semafor.....	58
5.1.4	Optická závora.....	59
5.2	Slave.....	59
5.2.1	Řízení motorů.....	60
5.2.2	Zdroj 6 V.....	60
5.2.3	Dálkoměr.....	60
6	Závěr.....	61
6.1	Úpravy mechanické části.....	61
6.2	Úpravy elektronické části.....	61
6.3	Testování modelu automatické mycí linky.....	61
6.4	Praktické využití.....	61
	Seznam literatury.....	62

Seznam obrázků

Obr. 1.1 - Pohled do mycí linky (HALAMKA, 2012)	16
Obr. 1.2 - Portálová mycí linka (WASHTEC, ©2012d).....	17
Obr. 1.3 - Tunelová mycí linka (AUTOFOX, 2013)	19
Obr. 1.4 - Bezkontaktní mytí (WAYOUTWESTAUSTIN, 2010)	19
Obr. 2.1 - Redukční převodovka s elektromotorem (KARS, ©2013)	20
Obr. 2.2 - Detailní pohled na kartáč (FIRETECH, ©2011).....	21
Obr. 2.3 - Detailní pohled na myčku kol (CECCATO, ©2008f).....	22
Obr. 3.1 - Blokové schéma elektronické části	24
Obr. 3.2 - Blokové schéma architektury mikrokontroleru AVR (ATMEL, 2011).....	25
Obr. 3.3 - Rozložení bitů příznakového registru (ATMEL, 2011)	26
Obr. 3.4 - Princip zásobníku (WIKIPEDIA, 2014b)	27
Obr. 3.5 - Význam bitů ve stack pointeru (ATMEL, 2011)	27
Obr. 3.6 - Vzorkování analogového signálu (WIKIPEDIA, 2013b)	28
Obr. 3.7 - Kvantování analogového signálu (WIKIPEDIA, 2014c).....	29
Obr. 3.8 - Blokové schéma komparačního A/D převodníku (PANÁČEK, 2011).....	29
Obr. 3.9 - Blokové schéma kompenzačního A/D převodníku (PANÁČEK, 2011)	30
Obr. 3.10 - Princip kompenzačního A/D převodníku (PANÁČEK, 2011)	30
Obr. 3.11 - Blokové schéma a princip A/D převodníku s postupnou aproximací (JÁNEŠ, 2013)	31
Obr. 3.12 - Blokové schéma a princip integračního A/D převodníku s dvojí integrací (REK, 2009)	32
Obr. 3.13 - Rozložení bitů registru ADMUX (ATMEL, 2011).....	32
Obr. 3.14 - Rozložení bitů registru ADCSRA (ATMEL, 2011).....	33
Obr. 3.15 - Princip PWM (ŠOBÁŇ, 2007).....	34
Obr. 3.16 - Princip PWM (GYMŠPIT, 2010).....	35
Obr. 3.17 - Zapojení uzlů na sběrnici I2C	36
Obr. 3.18 - Protokol I2C (BESTMICROCONTROLLERPROJECTS, ©2014).....	36
Obr. 3.19 - Registr TWBR (ATMEL, 2011)	38
Obr. 3.20 - Registr TWCR (ATMEL, 2011)	38
Obr. 3.21 - Registr TWSR (ATMEL, 2011).....	39
Obr. 3.22 - Registr TWDR (ATMEL, 2011)	39
Obr. 3.23 - Registr TWAR (ATMEL, 2011)	39

Obr. 3.24 - Struktura H-můstku (STMICROELECTRONICS, 2000)	40
Obr. 3.25 - Princip elektromotoru (ELEKTRIKA, 2008).....	41
Obr. 3.26 - Rotor a drážkový komutátor (SOPO, 2008).....	42
Obr. 3.27 - Zapojení OZ jako převodník proud/napětí (DLABOS, nedatováno).....	43
Obr. 3.28 - Struktura OZ (HOSPODKA, 2007)	44
Obr. 3.29 - Neinvertující zapojení (WIKIKNIHY, 2013)	44
Obr. 3.30 - Invertující zapojení (WIKIKNIHY, 2013).....	45
Obr. 3.31 - Napěťový sledovač.....	45
Obr. 3.32 - Součtový zesilovač (MORAVEC, ©2014a)	46
Obr. 3.33 - Rozdílový zesilovač (MORAVEC, ©2014b).....	46
Obr. 3.34 - Odezvy integračního zesilovače (PETAN, 2012b)	47
Obr. 3.35 - Integrační zesilovač (PETAN, 2012b)	47
Obr. 3.36 - Odezvy derivačního zesilovače (PETAN, 2012b)	48
Obr. 3.37 - Derivační zesilovač (HEJDA, 2004).....	48
Obr. 3.38 - Princip maticové klávesnice (DUDÁČEK, 2002).....	49
Obr. 3.39 - Připojení PC klávesnice k mikrokontroléru (VÁŇA, 2004).....	50
Obr. 3.40 - Jednocestná optická závora (SENZORTECH, 2008)	50
Obr. 3.41 - Zapojení časovače 555 jako AKO (WIKIPEDIA, 2013c)	51
Obr. 3.42 - Dálkoměr HSDL-9100 a graf závislosti výstupního napětí na vzdálenosti od překážky (AGILENT, 2005).....	52
Obr. 3.43 - Pomocný obvod pro vyhodnocení vzdálenosti (AGILENT, 2005).....	52
Obr. 3.44 - Zapojení MAX232 (SODOITYOURSELF, 2007)	53
Obr. 3.45 - Schéma zapojení spínaného zdroje (HAVLÍČEK, 2014)	54
Obr. 5.1 - Předloha Master zařízení.....	57
Obr. 5.2 - Předloha displeje	57
Obr. 5.3 - Předloha zdroje, vlevo stabilizovaný, vpravo spínaný.....	58
Obr. 5.4 - Předloha semaforu.....	58
Obr. 5.5 - Předloha optické závory - vysílače.....	59
Obr. 5.6 - Předloha slave zařízení.....	59
Obr. 5.7 - Předloha desky řízení motorů.....	60
Obr. 5.8 - Předloha dálkoměru.....	60

Seznam tabulek

Tab. 1.1 - Mycí programy (IROMEZ, ©2011).....	18
Tab. 3.1 - Nastavení reference (ATMEL, 2011).....	32
Tab. 3.2 - Nastavení děličky kmitočtu (ATMEL, 2011)	34
Tab. 3.3 - Nastavení chodu motoru (STMICROELECTRONICS, 2000)	40
Tab. 3.4 - Parametry ideálního OZ (BAKAL, 2006).....	43

Seznam zkratk

I2C	Inter-Integrated Circuit
RISC	Reduced Instruction Set Computing, redukovaná instrukční sada
CISC	Complex Instruction Set Computers, komplexní instrukční sada
MIPS	Million Instruction Per Second, milion instrukcí za sekundu
SEI	set interrupt
CLI	clear interrupt
LIFO	last in - first out, první dovnitř - poslední ven
SP	Stack Pointer, ukazatel
PWM	Pulse Width Modulation, pulsně šířková modulace
TWI	Two Wire Interface
SDA	Serial Data, sériová data
SCL	Serial Clock, hodinový signál
OZ	operační zesilovač
IR	infrared, infračervený
TTL	transistor - transistor logic, tranzistorově-tranzistorová logika
DC	direct current, stejnosměrný proud

Seznam symbolů

f	frekvence, Hz
I	elektrický proud, A
U	elektrické napětí, V
R	elektrický odpor, Ω
C	elektrická kapacita, F
M	magnetický moment, Wb·m
Φ	magnetický tok, Wb
Z	impedance, Ω
A_U	napětíové zesílení, dB

Úvod

Výsledkem bakalářské práce je úprava konstrukce a zcela nová řídicí elektronika laboratorního modelu mechatronického systému - automatické mycí linky pro automobily.

Bakalářská práce je rozdělena celkem do 5 základních kapitol.

V první kapitole je popsána konstrukce různých typů reálných mycích linek. Dále je zde jejich základní rozdělení a zjednodušený přehled jednotlivých funkcí mycí linky.

Ve druhé kapitole je seznámení s funkcí snímačů a akčních členů používaných v reálných zařízeních z pohledu automatického řízení. Jsou to zejména používané akční členy, snímače příslušných veličin, případně další možná rozšíření technického vybavení mycích linek, či jejich doplňková vybavení.

Třetí kapitola se zabývá elektronickou a mechanickou úpravou modelu mycí linky. Jsou zde vysvětleny základní principy elektronických a mechanických součástek použitých při realizaci bakalářské práce spolu s dílčími schémata zapojení navržených obvodů.

Software pro řízení mycí linky je popsán ve čtvrté kapitole. Je zde popsána celková funkce programu, od zapnutí modelu, přes počáteční komunikaci mezi jednotlivými elektronickými moduly, inicializačního procesu mycí linky a popisu jednotlivých fází řízení mycího cyklu automobilu. Cyklus mytí je zde popsán od volby mycího programu, přes navigaci pohybu automobilu v myčce, až po opuštění automobilu z prostoru mycí linky.

Návrhy desek plošných spojů jsou popsány v páté kapitole.

1 Mycí linka pro automobily – historický vývoj

Automatická mycí linka pro automobily se používá k čištění exteriéru, v některých zařízeních i interiéru, automobilu. Dnes je to téměř 70 let od dob, kdy byla otevřena první automatická mycí linka. Od těch dob se technologie mytí několikrát změnila, ale princip zůstává stále stejný. První „automatická“ mycí linka byla otevřena v Hollywoodu v Kalifornii okolo roku 1940. Dříve auto musel pracovník skrz linku tlačit. Nyní místo toho měl tento typ navijákový systém, který se přichytil k nárazníku automobilu a táhl auto skrz linku (DAVISON, 2013). V roce 1946 byla vynalezena a sestrojena první poloautomatická mycí linka. Tato linka již disponovala dopravním pásem, horním automatickým postřikem vody a třemi ručně ovládanými kartáči (CARWASHFINDER, ©2014). Pro sušení vozidla bylo instalováno dmychadlo o výkonu 50 koňských sil. V roce 1951 byla linka plně automatizována. Veškeré obsažené komponenty jako: dopravníkový pás, mycí trysky, robustní kartáče a mohutné ventilátory byly automaticky ovládány. Dále byla přidána funkce recirkulace vody a tím se linka stává šetrnější k životnímu prostředí. Proto v 60. letech minulého století expanduje téměř do celého, technicky vyspělého, světa. Tím se mění celkový pohled na mytí aut (HALAMKA, 2012).

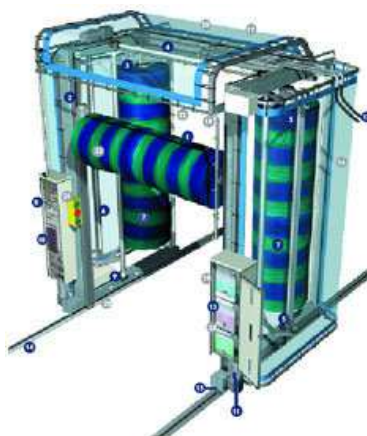


Obr. 1.1 - Pohled do mycí linky (HALAMKA, 2012)

Mytí auta se neprovádí pouze z estetických důvodů. Provozem vozidla usazená, mastná špína na sebe navazuje celou řadu škodlivých látek, jako je voda či agresivní posypová sůl, které přispívají k podstatnému snížení životnosti karoserie automobilu. Nejcitlivějším místem jsou přitom nejen spoje karosářských dílů, ale také podběhy či blatníky. Koroze se ale nevyhýbá žádné části automobilu (ŠVIDRNOCH, 2008).

1.1 Rozdělení automatických mycích linek

1.1.1 Portálové mycí linky



Obr. 1.2 - Portálová mycí linka (WASHTEC, ©2012d)

U tohoto typu mycích linek vozidlo vjíždí na předem určené místo a zde automobil stojí po celou dobu procesu mytí. Stojící vůz objíždí portálová konstrukce, většinou se třemi kartáči. U modernějších zařízení i s pěti kartáči, fukary a vodními tryskami. Portál přejíždí dopředu a dozadu po vodících kolejnicích a řídicí jednotka vykonává jeden z mnoha předem zvolených procesů umývání vozidla.

Portálové mycí linky jsou vhodné pro mytí jak osobních, tak i nákladních automobilů. V některých případech lze mezi portálové linky zařadit mycí linky na mytí vlakových souprav. I když vzhledem k principu mytí se nejedná o portálovou linku, protože portál je v klidu a vlaková souprava se pohybuje po kolejkách uvnitř mycí linky. Princip mytí je ale v obou případech totožný. Dále se budu zabývat popisem pouze portálové mycí linky určené pro osobní automobily, protože řízení tohoto typu jsem řešil v mé práci. Algoritmus mytí je u všech mycích linek téměř totožný. Než automobil vjede do mycí linky, musí být vybrán jeden z předem volitelných mycích programů. Tyto programy se mohou mírně lišit. Každá linka má jiné, jelikož každá disponuje jiným technickým vybavením a technologiemi. Vybrané základní mycí programy jsou znázorněny v tab. 1.1 (CECCATO, ©2008a; CECCATO, ©2008b; CECCATO, ©2008c; CECCATO, ©2008d, WASHTEC, ©2012a).

Tab. 1.1 - Mycí programy (IROMEZ, ©2011)

Program	Rozpis mycích programů
Mytí	Mytí - šampon, čistá voda
Mytí a sušení jedním směrem	Mytí - šampon, čistá voda Sušení - jedním směrem
Mytí a sušení oběma směry	Mytí - šampon, čistá voda Sušení - oběma směry
Mytí, voskování a sušení oběma směry	Mytí - šampon, čistá voda Sušící roztok, horký vosk Sušení - oběma směry
Aktivní mytí a sušení oběma směry	Aktivní pěna Mytí - šampon, čistá voda Sušící roztok Sušení - oběma směry
Aktivní mytí, voskování a sušení oběma směry	Aktivní pěna Mytí - šampon, čistá voda Sušící roztok, horký vosk Sušení - oběma směry

Po zvolení programu následuje vjezd vozidla do mycího prostoru myčky. V této fázi jsou již uplatněny technické prostředky automatizace a aktuální poloha automobilu je signalizována většinou světelným semaforem umístěným na konstrukci portálu. Poloha vozidla je průběžně zjišťována hlavně pomocí optických závor. Když se vozidlo nachází na určeném místě, signalizace tuto polohu oznámí příslušným světelným signálem a řidič vozidla je pomocí grafického optického návěští vyzván k vypnutí motoru vozidla a jeho zabezpečení proti pohybu. V tomto okamžiku nastává spuštění pracovního cyklu mycí linky. Po dokončení mycího programu opět optická signalizace oznámí konec zvoleného procesu a řídicí systém linky nám umožní opustit linku, která je následně připravena na obsluhu dalšího automobilu.

1.1.2 Tunelové mycí linky

Dalším typem linky umožňující automatické mytí automobilů je tzv. tunelová mycí linka. V tomto případě je logika pohybu mycí linky a umývaného vozidla opačná. Mycí linka v tomto případě stojí a vozidlo se pohybuje pomocí pásového dopravníku, na kterém stojí s vypnutým motorem. Určitou výhodou tohoto typu mycí linky je, že dokáže obsloužit více aut najednou (WASHTEC, ©2012b; CECCATO, ©2008e).



Obr. 1.3 - Tunelová mycí linka (AUTOFOX, 2013)

1.1.3 Bezkontaktní mytí

U tohoto typu mytí obstarávají vše vysokotlaké mycí trysky. U nejmodernějších modelů mycích linek jsou i trysky s rotujícím a pulzujícím pohybem, které tak účinně odstraní běžnou usazenou špínu. Voda se tímto způsobem mytí dostane opravdu všude. Řízení mycího cyklu může být obstaráno buď řídicím systémem automatické mycí linky, nebo může být obsluhováno operátorem (člověkem). V tomto případě by ale nešlo o automatickou mycí linku, i když se tento způsob běžně využívá (WASHTEC, ©2012c; X-STREAM WASH SYSTEM, ©2014).



Obr. 1.4 - Bezkontaktní mytí (WAYOUTWESTAUSTIN, 2010)

2 Funkce snímačů a akčních členů použitých v reálných zařízeních z pohledu automatického řízení

Na trhu můžeme najít opravdu velké množství různých typů automatických mycích linek, protože jejich výrobci se snaží využít co nejmodernější technologie známé v době návrhu a konstrukce mycí linky. Popisovat všechny dosud použité technologie by bylo zdlouhavé, a proto budu popisovat jen jeden vybraný konkrétní typ automatické mycí linky. (CECCATO, ©2008a).

2.1 Pohyb portálu

Konstrukce portálu, která je vyrobená z pozinkované nebo nerezové oceli, se pohybuje po kolejnici s vysokou mechanickou odolností. Kontrola posuvu po kolejnici je pomocí „inverzního mechanismu“, který zamezuje ostrým startům. Tento pohyb je vykonáván redukční elektropřevodovkou. Kolejnice jsou vybaveny mechanismy proti vykolejení a překlopení, které mimo jiné zajišťuje profil kolejnice.



Obr. 2.1 - Redukční převodovka s elektromotorem (KARS, ©2013)

2.2 Vodorovné a svislé kartáče

2.2.1 Vodorovný kartáč

Systém řízení je uskutečňován metodou měření výkonu a pohyb po portálu je zajišťován pomocí elektromotorů.

2.2.2 Svislé kartáče

Řízení kartáčů je stejné jako u kartáče vodorovného. Otáčení kartáčů je pomocí redukčních elektropřevodovek, které jsou umístěny přímo na hřídeli. Když má automobil namontován vlečný hák, je možné kmitání svislých kartáčů omezit. Bezpečnostní systém je zajišťován indukčními čidly.



Obr. 2.2 - Detailní pohled na kartáč (FIRETECH, ©2011)

2.3 Sušení

O sušení automobilu se starají čtyři elektrické ventilátory s nízkorychlostními, vysoce účinnými rotory. Ventilátory pracují s velmi malou hlučností. Vzduch z ventilátoru je přiváděn do ofukovací trysky. Tryska kopíruje tvar vozidla pomocí fotobuňky. Pohyb trysky je uskutečněn redukční elektropřevodovkou s volnoběžkou. Ofukovací tryska je vybavena bezpečnostním mechanismem.

2.4 Přívod vody a vzduchu a systém dávkování chemických prostředků

2.4.1 Přívod vody

Přívod vody do automyčky je zdvojený. Proto lze linku zásobit jak vodou recyklovanou, tak vodou čistou. Průtokoměry ve vodním potrubí nám zajišťují kontrolu nad množstvím vody, které je do myčky přiváděno i odváděno.

2.4.2 Přívod vzduchu

Pro kontrolu vzduchového okruhu je myčka vybavena tlakovým spínačem. Odvod kondenzátu ze vzduchu je automatický, pomocí filtru na vstupu.

2.4.3 Dávkování chemických prostředků

Pomocí vakuových čerpadel s nastavitelným výkonem se rozvádí chemie tam, kde je třeba. Čerpadla jsou vybavena sacími a výtlačnými ventily. Dávkovač šamponu a vosku je

součástí normálního vybavení. Dávkovač speciálního vosku (supercera) a změkčovadla je instalován na požádání. Pro snížení spotřeby vody je přívod vody do dávkovačů optimalizován. Pěna slouží ke změkčení nečistot, které se snáze odstraňují, a proto nedochází k abrazivnímu působení nečistot na karosérii. Při změně konzistence pěny je nutné tuto skutečnost vzít v úvahu a při následném oplachování je nutné zvýšit přívod vody.

2.5 Doplnkové vybavení

Doplňkové vybavení je mimo standardní výbavu automyčky, a proto si za tyto doplňky připlatíme.

2.5.1 Seřizovač kol

Správným postavením vozidla se optimalizuje proces mytí a chrání jak linku, tak vozidlo před poškozením, které by bylo způsobeno špatným umístěním vozidla.

2.5.2 Myčka kol

Pro dokonalé umytí kol jsou instalovány speciální kartáče. Vysouvají se pomocí pneumatických válců. Myčku kol uvádí do provozu fotobuňka, jež zaznamenává průjezd vozidla linkou.



Obr. 2.3 - Detailní pohled na myčku kol (CECCATO, ©2008f)

2.5.3 Robowash

Robowash o tlaku 80 až 100 bar nahrazuje ruční vysokotlaké předmytí boků. Je tvořen dvěma otočnými tryskami, které se střídavě pohybují svislým směrem a směřují automaticky dopředu či dozadu. Další fotobuňka zajišťuje pečlivé umytí krytů kol.

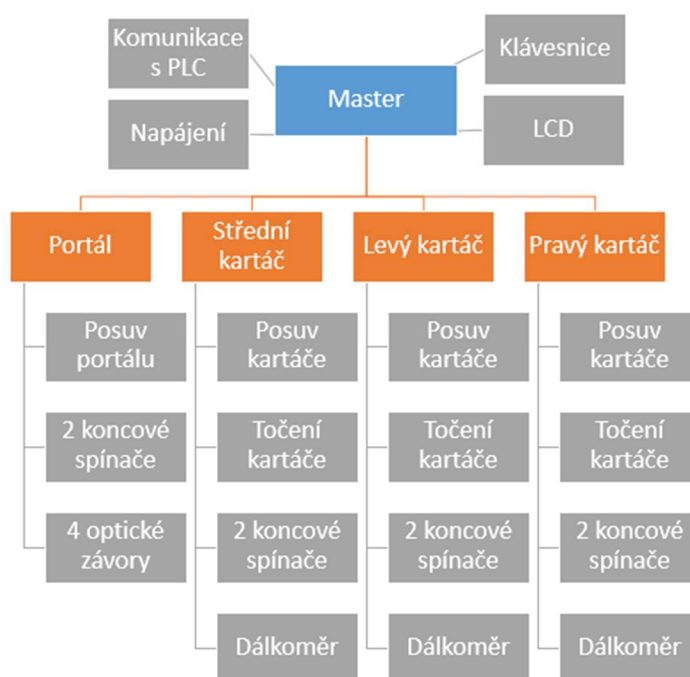
2.5.4 Myčka podvozku

Myčka podvozku je tvořena systémem dvou podélných ramp s tryskami s alternativním pohybem, a je napájena vodou se středně vysokým tlakem.

3 Realizace elektronické řídicí jednotky

Cílem bakalářské práce je zjednodušení stávající elektroniky. Strategii řízení jsem zvolil decentralizovaný systém, protože je méně náročný na počet kabelů a v praxi se využívá častěji. Decentralizace je zajištěna jednou řídicí jednotkou master a několika slave zařízeními (TOMAN, 2007). Master přijímá data z klávesnice a po I2C sběrnici posílá slave jednotkám řídicí informace. Původní elektroniku bylo nutné odstranit a předělat podle tohoto konceptu. Dalším problémem, který jsem musel vyřešit, bylo napájení. Původní model byl napájen z laboratorního zdroje, ale pro lepší přenositelnost modelu byl zvolen síťový napájecí adaptér. Pro lepší demonstraci chodu modelu byly vyměněny motory. Původní motor měl 88 ot/min při zatížení. Námí zvolený typ motoru se otáčí rychlostí maximální rychlostí 293 ot/min, což zrychluje proces.

Decentralizace jsem docílil použitím master zařízení, které se stará o správný běh linky. Slave zařízení jsem využil jako zařízení pro správu motorů.



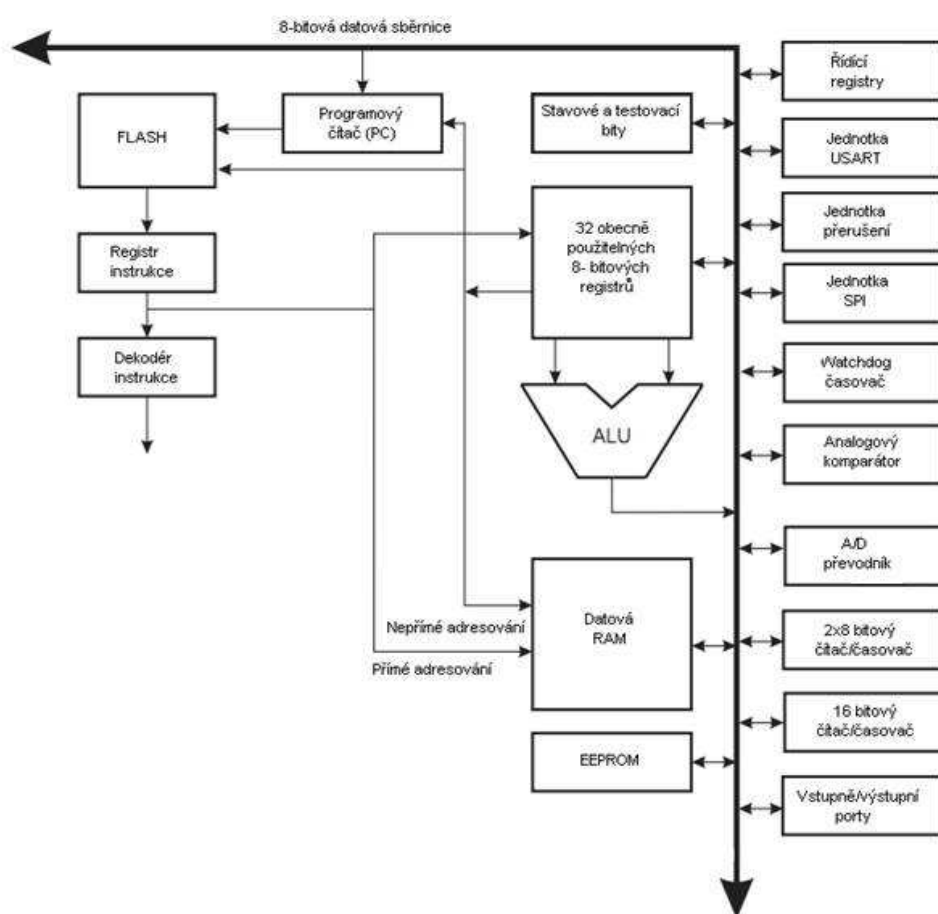
Obr. 3.1 - Blokové schéma elektronické části

Hardwarově jsem problém decentralizace řešil obdobně. Slave zařízení jsem rozmístil po portálu tak, aby byly jednotky co nejbližší místu, které řídí. Zařízení spolu komunikují po sběrnici I2C. Slave zařízení se skládají ze dvou desek plošných spojů. Spodní deska je univerzální, všechny zařízení ji mají stejnou. Horní deska je již specializovaná a navržena tak,

aby co nejlépe vyhovovala k ovládání příslušného zařízení. Deska pro řízení motorů je univerzální k řízení stejnosměrných motorů v takovém rozsahu, jaký nabízí H-můstek. Deska pro ovládání displeje již tak univerzální není, protože je navržena pro tento typ displeje a klávesnice. Univerzálnost je omezena použitou sběrnici mezi deskou a řídícím členem.

3.1 Mikroprocesor

Ve všech jednotkách jsem použil mikroprocesor z rodiny AVR od firmy Atmel, ATmega32. Tento mikroprocesor vyhovuje svými periferiemi a vnitřními obvody požadavkům pro správnou funkci mycí linky.



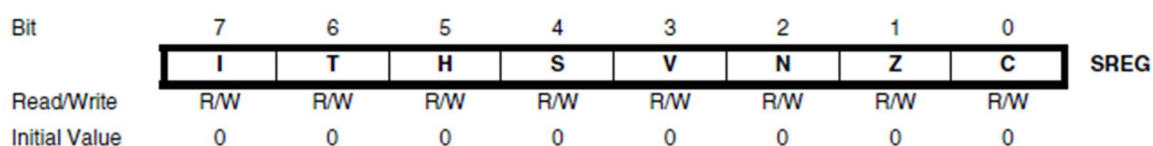
Obr. 3.2 - Blokové schéma architektury mikrokontroleru AVR (ATMEL, 2011)

Mikroprocesor je 8 bitový s RISC architekturou. RISC (Reduced Instruction Set Computing) je architektura s redukovanou instrukční sadou, jejíž návrh je zaměřen na jednoduchou, vysoce optimalizovanou sadu strojových instrukcí. Oproti CISC (Complex Instruction Set Computers, komplexní instrukční sada) obsahuje méně instrukcí, ale jejich skládáním lze dosáhnout stejného nebo i vyššího počtu instrukcí. Mikrokontroler dosahuje

výkonu 16 MIPS čili Million Instruction Per Second (milion instrukcí za sekundu) při frekvenci 16MHz. Mikroprocesor má 32 univerzálních 8 bitových registrů r0 až r31. Pro nepřímé adresování má mikroprocesor 3 páry registrů X, Y a Z, které se interpretují jako 16 bitové (r26:r27 = X, r28:r29 = Y, r30:r31 = Z). Dále mikroprocesor obsahuje registry jako programový čítač, příznakový registr, zásobník a další speciální registry, které jsou určeny pro řízení periférií, tzv. vstupně-výstupní registry.

16 bitový programový čítač obsahuje adresu právě vykonávané instrukce, tj. adresu v paměti programu. Po zapnutí nebo resetu má registr hodnotu 0.

Příznakový registr (status registr nebo také flag registr) má v sobě uložen stav mikroprocesoru, včetně výsledků aritmetických a logických operací.



Obr. 3.3 - Rozložení bitů příznakového registru (ATMEL, 2011)

I - Global interrupt enable - Globální povolení přerušení, které se povoluje/zakazuje instrukcemi SEI (set interrupt) a CLI (clear interrupt).

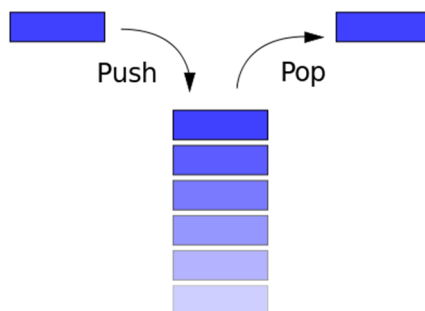
Z - Zero - Je-li bit nastaven, výsledek předchozí operace byl nulový. Tohoto příznaku se využívá při testování nebo porovnávání.

S - Sign - Znaménkový bit, který určuje znaménko předchozí operace (0 - kladný, 1 - záporný).

C - Carry - Bit značí přenos z nejvyššího řádu při aritmetických operacích.

Zásobník s datovou strukturou LIFO (last in - first out) má dvě operace. PUSH ukládá hodnotu na vrchol zásobníku a POP, která odebírá hodnotu ze zásobníku. Zásobník se využívá pro uložení mezivýsledků nebo při volání procedur a funkcí. Zásobník v případě potřeby automaticky uloží inkrementovanou adresu právě vykonávané instrukce. Ukazatel na vrchol zásobníku se nazývá stack pointer (SP). Pro zásobník je vyhrazena část paměti RAM. SP ukazuje na vrchol zásobníku a obsahuje adresu tohoto vrcholu. Zásobník roste směrem dolů.

Ukazatel je 16 bitový a skládá se ze dvou samostatně přístupných 8 bitových registrů.



Obr. 3.4 - Princip zásobníku (WIKIPEDIA, 2014b)

Dále mikroprocesor obsahuje 32kB programovou paměť typu FLASH, kterou lze po naprogramování aplikace uzamknout. Počet zápisových/mazacích cyklů je podle technické dokumentace 10 000 cyklů dostačující (ATMEL, 2011).

V následujících kapitolách bude uveden popis funkcí, které jsem využil pro naprogramování chodu laboratorního modelu mycí linky.

3.1.1 A/D převodník

Mikroprocesory ATMega32 pracují pouze s digitálními hodnotami, a proto je potřeba analogové signály převést na digitální. Převod analogového signálu probíhá ve dvou krocích. Nejprve se musí analogový signál navzorkovat a následně kvantovat.

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
	SP15	SP14	SP13	SP12	SP11	SP10	SP9	SP8	SPH
	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	SPL
	7	6	5	4	3	2	1	0	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr. 3.5 - Význam bitů ve stack pointeru (ATMEL, 2011)

Mikroprocesory nepracují ve spojitém čase, ale pracují „pouze“ v určitých časových intervalech. Tyto intervaly jsou dány frekvencí krystalu nebo kmitočtem vnitřního generátoru kmitočtu mikroprocesoru. Analogový signál je navzorkován se stejně velkou vzorkovací periodou, ze které odebereme jeden vzorek signálu.

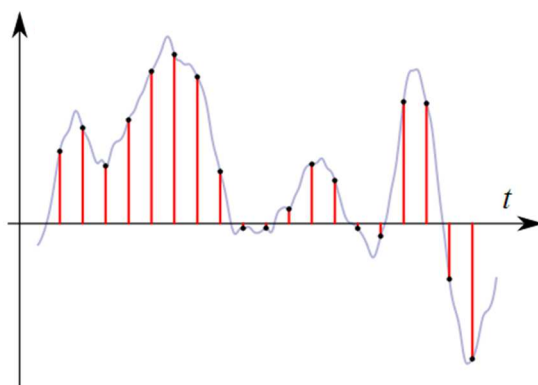
Navzorkováním analogového signálu dostaneme diskrétní hodnoty v určitých časových okamžicích. Informace mezi dvěma sousedními vzorky je trvale ztracena.

Dalším zkreslením signálu může být tzv. aliasing. K němu dochází, pokud zvolíme nevhodně vzorkovací frekvenci. Pokud je vzorkovací frekvence celistvým násobkem vzorkovacího kmitočtu, může být výsledkem rekonstrukce navzorkovaného signálu vznik neexistujícího kmitočtu obsaženého ve zpracovaném signálu. Abychom dostali uspokojivé výsledky při digitalizaci zpracovávaného signálu, musí být vzorkovací frekvence minimálně dvakrát větší, než je nejvyšší frekvence původního analogového signálu. Toto pravidlo se nazývá Shannonův teorém.

$$f_s > 2f_{\max} \quad (3.1)$$

Vzorkovací frekvence f_s musí být minimálně dvakrát vyšší než nejvyšší zajímavá frekvence f_{\max} obsažená ve spojitém signálu.

Při nedodržení tohoto pravidla dochází k nenávratnému zkreslení signálu. Chybě aliasing lze zabránit použitím tzv. antialiasing filtru. Tento filtr je filtr dolní propusti, který se zařadí před převodník. Filtr nedovolí signálu s větší frekvencí, než je frekvence vzorkovací, vstoupit do převodníku.

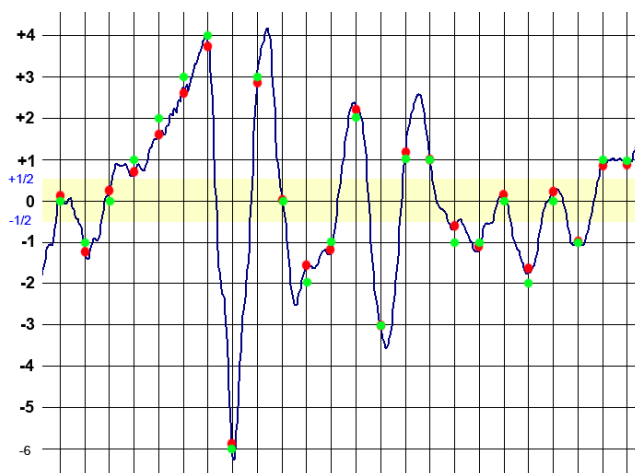


Obr. 3.6 - Vzorkování analogového signálu (WIKIPEDIA, 2013b)

Druhým krokem je kvantování. Mikroprocesor umí zpracovávat digitální signál s omezenou přesností. Přesnost je dána rozlišením převodníku. Navzorkovanému signálu se musí udělit jeho velikost. Kvantování je znázorněno na obr. 3.7.

Signál může nabývat pouze celočíselných hodnot. Abychom mohli určit tuto hodnotu, je nutné rozdělit prostor kolem těchto hodnot tzv. tolerančním pásmem, které je na obr. 3.7 znázorněno okolo bodu 0 v intervalu od $+1/2$ až $-1/2$. Toto pásmo je okolo každého bodu a slouží k určení kvantizační úrovně signálu. Zeleně jsou znázorněny kvantované hodnoty a červenou barvu má skutečná hodnota signálu.

Počet kvantizačních úrovní je dán rozlišením A/D převodníku. 8 bitový převodník může nabývat 2^8 (256) hodnot, 10 bitový nabývá 2^{10} (1024) hodnot (ATMEL, 2011; NESLÁDEK, ©2014; LIČEV, ©2014).

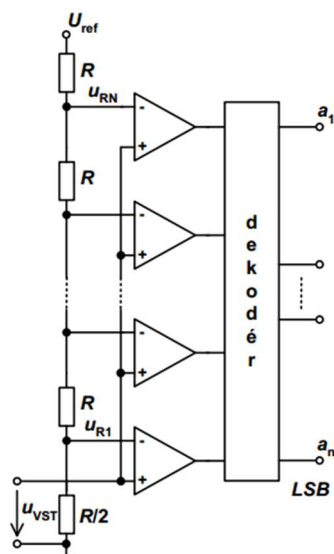


Obr. 3.7 - Kvantování analogového signálu (WIKIPEDIA, 2014c)

3.1.1.1 Rozdělení A/D převodníků

A/D převodníky lze rozdělit do několika skupin podle toho, jakým způsobem je převod uskutečněn. Zde jsou uvedeny základní principy převodníků.

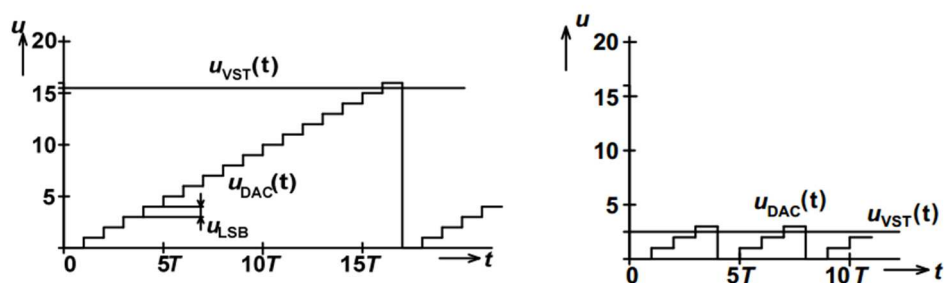
Komparační A/D převodník srovnává vstupní napětí s kvantovaným referenčním napětím. Hodnota číslicového výstupního napětí je dána počtem odpovídajících kvant referenčního napětí. Komparace napětí se může uskutečnit současně nebo postupně, záleží na struktuře převodníku.



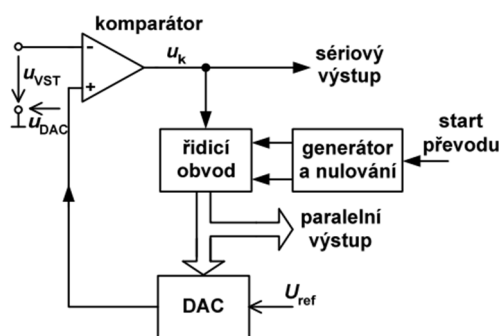
Obr. 3.8 - Blokové schéma komparačního A/D převodníku (PANÁČEK, 2011)

Kompenzační A/D převodník je vlastně automatický kompenzátor napětí. Porovnává se vstupní hodnota s hodnotou zpětnovazebního napětí, které je převedeno v D/A převodníku z výstupního číslicového slova. Toto výstupní slovo se mění tak dlouho, dokud není rozdíl obou napětí minimální.

Nejdříve se nastaví bit s nejnižší hodnotou a převede se v D/A převodníku na analogovou hodnotu. Tato hodnota se porovná se vstupním napětím. Když je hodnota vstupního napětí vyšší, tak se tento bit nastaví na log. 0. V dalším kroku se nastaví další bit a opakuje se tento cyklus do doby, dokud není vstupní hodnota menší než hodnota z D/A převodníku. Když je tato hodnota menší, končí převod a na paralelním výstupu se objeví digitální hodnota analogového vstupu. Čas potřebný pro převod napětí je dán velikostí vstupního napětí.



Obr. 3.10 - Princip kompenzačního A/D převodníku (PANÁČEK, 2011)



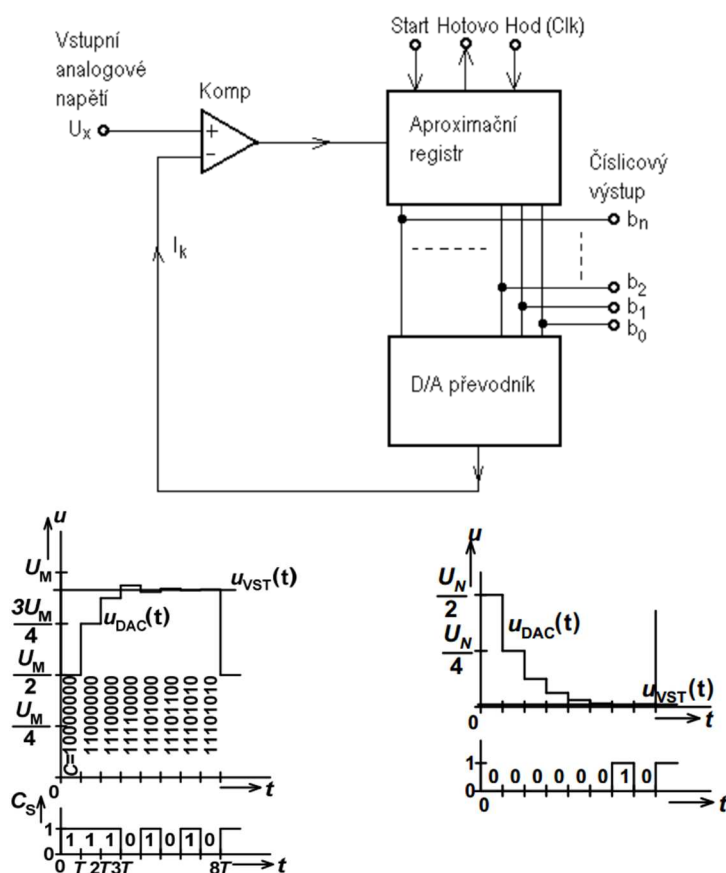
Obr. 3.9 - Blokové schéma kompenzačního A/D převodníku (PANÁČEK, 2011)

Převodník s postupnou aproximací porovnává vstupní hodnotu s hodnotou digitálního slova. Toto slovo se nastavuje od nejvyššího bitu a postupně se hodnota slova přibližuje vstupnímu napětí. Když je nastaven poslední bit, je toto slovo převedeno na výstup převodníku.

U 8 bitového převodníku se digitální slovo nastaví na hodnotu 1000 0000₂ a porovná se se vstupním napětím. Jestliže je toto slovo nižší, tak se bit s nejvyšší váhou nastaví na log. 1 a digitální slovo se nastaví na hodnotu 11000000 a opakuje se porovnání. Když je vyšší, nastaví

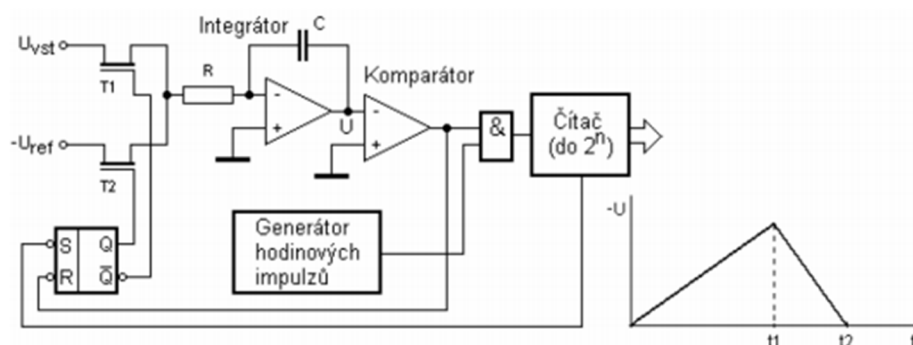
se bit na log. 0. Takto převod pokračuje, dokud se neporovná s digitálním slovem s nastaveným bitem na pozici s nejnižší vahou.

Převod trvá vždy stejně dlouho. Tato doba je úměrná počtu bitů převodníku a jeho rychlosti převodu.



Obr. 3.11 - Blokové schéma a princip A/D převodníku s postupnou aproximací (JÁNEŠ, 2013)

Integrační A/D převodník s dvojí integrací je založen na integraci vstupního signálu. Převodník pracuje ve dvou krocích. V prvním kroku se integruje vstupní napětí. Čím je vstupní napětí vyšší, tím je přímka integrace strmější. Ve druhém kroku se tranzistor T1 rozezne a sepne se tranzistor T2. Integrátor integruje záporné referenční napětí, dokud není integrovaná hodnota 0. Přímka ve druhém kroku má vždy stejný sklon, protože je referenční napětí konstantní. Velikost vstupního napětí je pak přímo úměrná době integrace obou napětí (ADÁMEK, 2008).



Obr. 3.12 - Blokové schéma a princip integračního A/D převodníku s dvojí integrací (REK, 2009)

3.1.1.2 A/D převodník v mikroprocesoru

Pro určení hodnoty proudu a napětí jsem využil funkci mikroprocesoru – A/D převodník. Hodnota proudu se dá převést na napětí, když známe hodnotu odporu.

$$I = \frac{U}{R} \quad (3.2)$$

A/D převodník je u ATmega32 8 kanálový a je umístěn na portu A. Převodník má rozlišení 10 bitů a může se porovnávat se třemi referencemi napětí. První možností je využít hodnotu napětí na pinu AREF, druhou napětí na pinu AUCC a poslední je použití vnitřní referenci 2,56 V. Pro nastavení převodníku používáme registr ADMUX. Rozložení bitů je vidět na obr. 3.13.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr. 3.13 - Rozložení bitů registru ADMUX (ATMEL, 2011)

Tab. 3.1 - Nastavení reference (ATMEL, 2011)

REFS1	REFS0	
0	0	Vnější reference - AREF
1	0	AUCC s připojeným kondenzátorem na AREF
0	1	Zatím nevyužit
1	1	Interní 2,56V reference s připojeným kondenzátorem na AREF

Bitem ADLAR se výsledek zarovnává. Standardně se zarovnává doprava. Bity MUX4 až MUX0 nastavují kanál, případně diferenci kanálů. Dalším důležitým registrem je ADCSRA, který převod řídí a informuje o stavu převodu.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr. 3.14 - Rozložení bitů registru ADCSRA (ATMEL, 2011)

Bitem ADEN se převodník vypíná/zapíná. Bit ADSC nás informuje o stavu převodu. Je-li bit nastaven, převod probíhá. Je-li vynulován, převod byl dokončen. Bit ADATE povoluje spuštění externího zdroje signálu (čítač/časovač, přerušení,...). Bity ADIF a ADIE slouží pro indikaci a povolení přerušení po dokončení převodu. Rychlost převodu se nastaví posledními třemi bity. Tato rychlost se vždy odvíjí od frekvence krystalu. Hodnota napětí se určí podle vztahu:

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}} \quad (3.3)$$

V_{IN} je napětí na vybraném vstupním pinu a V_{REF} je napětí na vybraném zdroji reference (ATMEL, 2011).

3.1.2 Čítač/časovač

Abychom určili přesný časový okamžik, využíváme funkci mikrokontroleru čítač/časovač. ATmega32 má dva 8 bitové a jeden 16 bitový čítač s vlastní předděličkou. Při práci využíváme tři speciální registry. Registr TCNT(N) obsahuje načítanou hodnotu. Tato hodnota se porovnává s hodnotou uloženou v registru OCR(N). Registr TCCR(N) řídí funkce čítače/časovače a TIMSK určuje masky přerušení (KARAS, 2006).

3.1.2.1 PWM

Jednou z mnoha funkcí čítače/časovače je funkce PWM (Pulse Width Modulation, pulsně šířková modulace). Tato funkce je využita pro řízení motorů. PWM se využívá ze dvou důvodů. Prvním je plynulý rozběh a pokles otáček motoru, protože při rázovém rozběhu dochází k velkému proudovému odběru a při skokové změně směru se může motor poničit.

Druhým důvodem je nastavení otáček motoru. Kdyby nebylo využito této funkce, mohl by motor dosahovat pouze dvou stavů: vypnuto (motor se neotáčí) a zapnuto (motor se otáčí v maximálních otáčkách). Pro generování PWM signálu se využívá čítače, který čítá od 0 do hodnoty nastavenou v registru ICR(N). Dále nastavujeme děličku kmitočtu, která se nastavuje v registru TCCR(N) pomocí bitů CS00 až CS02. Do registru OCR(N) se uloží hodnota PWM signálu.

Tab. 3.2 - Nastavení děličky kmitočtu (ATMEL, 2011)

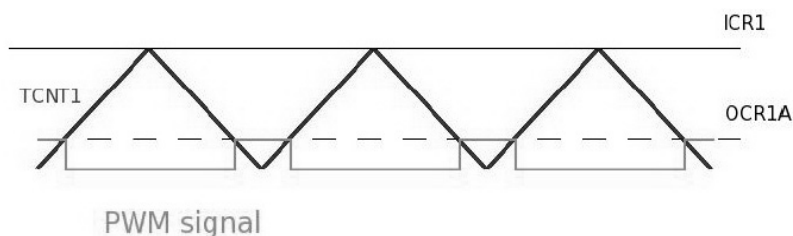
CS02	CS01	CS00	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped).
0	0	1	$\text{clk}_{I/O}$ /(No prescaling)
0	1	0	$\text{clk}_{I/O}/8$ (From prescaler)
0	1	1	$\text{clk}_{I/O}/64$ (From prescaler)
1	0	0	$\text{clk}_{I/O}/256$ (From prescaler)
1	0	1	$\text{clk}_{I/O}/1024$ (From prescaler)
1	1	0	External clock source on T0 pin. Clock on falling edge.
1	1	1	External clock source on T0 pin. Clock on rising edge.

Výsledná frekvence PWM signálu se vypočítá podle vzorce:

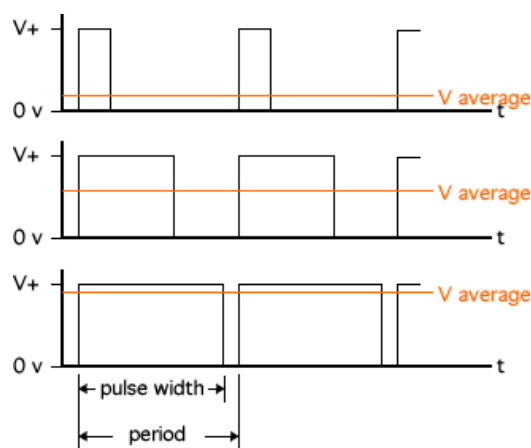
$$f_{PWM} = \frac{f_{CLK}}{N \cdot 256} \quad (3.4)$$

f_{CLK} je frekvence krystalu a N je dělicí poměr, který nastavujeme bity CS00 až CS02.

V registru TCNT1 se čítá hodnota od nuly do hodnoty ICR1. V registru OCR1A je hodnota, která se porovnává právě s načítanou hodnotou. Podle nastavení čítače je na výstupu log. 1 nebo log. 0, která udává hodnotu PWM signálu.



Obr. 3.15 - Princip PWM (ŠOBÁŇ, 2007)



Obr. 3.16 - Princip PWM (GYMŠPIT, 2010)

Vysílanému signálu se mění střída, tj. poměr mezi časem sepnutí a vypnutí. Hodnota signálu je zakódována právě v této střídě. Motor se otáčí tak rychle, jak velké je průměrné napětí PWM signálu (HW, 2004).

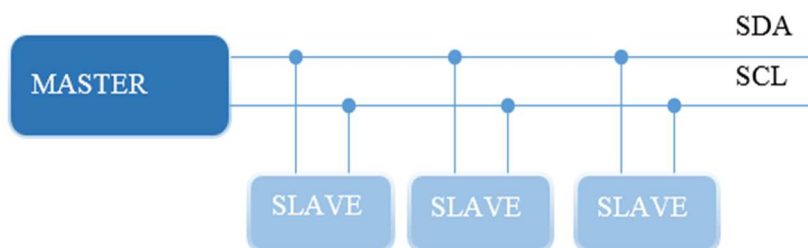
3.1.3 Sběrnice I2C

Sběrnice I2C (IIC bus, tedy Internal-Integrated-Circuit Bus) je interní datová sběrnice sloužící pro komunikaci a přenos dat mezi jednotlivými integrovanými obvody, většinou v rámci jednoho zařízení. V tomto případě slouží sběrnice pro komunikaci jednotlivých zařízení umístěných na konstrukci linky. Sběrnici vyvinula firma Philips. První verze sběrnice byla použita v roce 1982. Tato sběrnice byla 100kHz. Systém byl vytvořen jako jednoduchá vnitřní sběrnice pro budování řídicí elektroniky s různými čipy firmy Philips. Od té doby byla několikrát zdokonalena. Mezi vylepšení patří rychlejší přenos. V dnešní době je možné komunikovat až s frekvencí 5 MHz, tzv. Ultra Fast Mode (UFM). Zvýšení počtu připojených zařízení a také snížení energetických nároků jsou další výhody novějších verzí sběrnice. Obvody AVR mají tuto sběrnici integrovanou. Firma ATMEL sběrnici přejmenovala na TWI (Two Wire Interface).

Sběrnice I2C je obousměrná a přenos probíhá po dvou vodičích - SDA (Serial DATA), vodič pro posílání dat, a SCL (Serial CLock), po kterém se přenáší hodinový signál. V praxi musíme připojit ještě třetí kabel tzv. signálovou zem (GND). V základní verzi jsou obvody adresovány 7bitově a v rozšířené verzi 10bitově. To umožňuje připojení 128, respektive 1024 čipů s různou adresou na jednu společnou sběrnici. V praxi jsou tato čísla podstatně nižší, protože adresu čipu většinou nelze určit plnými 7 (10) bity, ale třeba jen třemi. Někdy nelze

určit adresu zařízení, protože je nastavena výrobcem pro daný typ čipu - takových čipů tedy na jedné sběrnici nemůže být více než jeden.

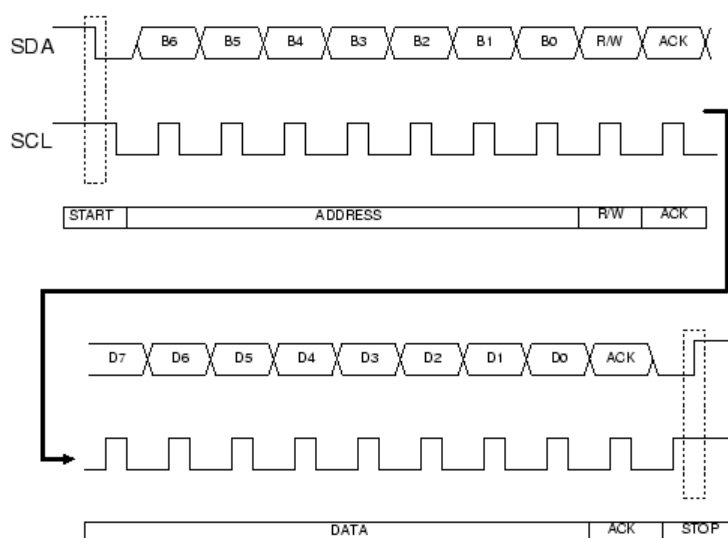
Přenosová rychlost je v základní verzi 100 kHz, v rozšířené 400 kHz a ve vylepšených verzích až 5 MHz. Rychlost přenosu závisí na nejpomalejším zařízení na sběrnici. Oba vodiče musí být implicitně ve stavu log. 1, což zajišťují pull-up odpory s hodnotou v řádu jednotek kiloohmů.



Obr. 3.17 - Zapojení uzlů na sběrnici I2C

3.1.3.1 Protokol sběrnice

Na sběrnici mohou být připojeny všechny integrované obvody podporující protokol sběrnice. Mezi integrované obvody, které dokáží po sběrnici komunikovat, patří například obvody RAM, EEPROM, posuvné registry, rozšířené porty, A/D a D/A převodníky a speciální integrované obvody jako například budiče displejů nebo integrovaných obvodů pro televizní a audio techniku.



Obr. 3.18 - Protokol I2C (BESTMICROCONTROLLERPROJECTS, ©2014)

Jedno zařízení pracuje v režimu MASTER, ostatní v režimu SLAVE. Hodinový signál generuje pouze řídící člen, data mohou vysílat všichni připojení účastníci. Když jeden čip vysílá

data, přijímají je všechny zařízení. Pouze podle adresy poznají, zda je zpráva určena právě jim. Když chce zařízení komunikovat, musí nejprve určit adresu, na kterou bude data posílat/přijímat, a řídicím bitem určit právě směr této komunikace. Tento bit se nazývá R/W bit a je součástí adresy.

Protokol I2C rozeznává přesně definované situace, které každému účastníkovi umožní rozeznat začátek a konec přenosu i možné adresování.

3.1.3.2 Přenos dat po sběrnici

Přenos dat je kombinací následujících stavů:

Stav klidu - master negeneruje hodinový signál. Na vodičích jsou log. 1, které zajišťují pull-up odpory.

Start bit - zahájení přenosu nebo pokračování přenosu se nazývá start bit. Start bit se generuje jako změna log. úrovně SDA z 1 na 0. Signál SCL zůstává ve stavu log. 1.

Přenos dat - přenos dat probíhá po 1 B, tedy 8 bitech. Přenos probíhá od nejvyššího bitu k nejnižšímu. Přenos 1 bitu je vždy při každém pulzu na SCL. Logická úroveň na SDA se může změnit pouze při log. 0 na SCL.

Potvrzení (ACK) - Bit slouží jako potvrzení přenosu dat a generuje ho přijímací zařízení. Správné potvrzení znamená, že se odešle ACK ve stavu log. 0 a přijímač je připraven k přijetí dalšího bytu. Stav log. 1 znamená, že přenos selhal nebo má dojít k ukončení přenosu. Stav log. 1 zajišťují pull-up rezistory.

Stop bit - Bit ukončuje přenos a je generován podobně jako start bit. Logická úroveň SDA se změní z 0 na 1, zatímco je SCL v logické 1. Stop bit může vysílač vygenerovat, pouze pokud přijímač neposlal ACK bit, tedy stav log. 1 v bitu ACK.

3.1.3.3 Použité registry

Rychlost komunikace na sběrnici je dána rychlostí nejpomalejšího zařízení. Rychlost zařízení je dána výrobcem a lze ji vyčíst v datasheetu. Do registru TWBR zapisujeme pouze u master zařízení, které vysílají hodinový signál. V zařízeních typu slave je tato hodnota ignorována.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TWBR7	TWBR6	TWBR5	TWBR4	TWBR3	TWBR2	TWBR1	TWBR0	TWBR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr. 3.19 - Registr TWBR (ATMEL, 2011)

Z rovnice 3.5 lze vypočítat hodnotu, kterou musíme vložit do registru TWBR. SCL je frekvence, kterou komunikují zařízení na sběrnici, f_{MCU} je frekvence mikroprocesoru a TWSP je hodnota bitové předděličky, která je v TWI Status Registru.

$$SCL = \frac{f_{MCU}}{16 + 2 \cdot TWBR \cdot 4^{TWSP}} \quad (3.5)$$

Řídící registr pro komunikaci po sběrnici I2C se nazývá TWCR. Je to nejdůležitější registr celého TWI a pokaždé, když chceme odvysílat START bit, STOP bit, adresu nebo data na sběrnici, nastavujeme právě jednotlivé bity tohoto registru.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE	TWCR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr. 3.20 - Registr TWCR (ATMEL, 2011)

Bit 7 - TWINT (Interrupt Flag - příznak přerušení) je nastavován mikroprocesorem po dokončení každé operace na sběrnici. Pokud je nastaven bit I ve stavové registru a bit TWIE v registru TWCR, skočí mikroprocesor do vektoru přerušení od TWI. Zároveň je linka SCL ve stavu log. 0. Tento bit se musí po každé operaci (před začátkem další operace) softwarově nastavit na hodnotu log. 1.

Bit 6 - TWEA (TWI Enable Acknowledge - povolení potvrzovacího pulsu) bit má smysl jen u zařízení typu slave, protože generuje signál ACK pro zařízení master.

Bit 5 - TWSTA (Start Condition Bit - zapsání bitu START na sběrnici) je bit, který udává, že zařízení je typu master. Mikroprocesor kontroluje sběrnici a čeká na STOP bit od jiného zařízení typu master. Po odeslání START bitu se musí tento bit softwarově vynulovat.

Bit 4 - TWSTO (Stop Condition Bit - zapsání bitu STOP na sběrnici) je bitem, který posílá STOP bit. Nulování tohoto bitu probíhá automaticky.

Bit 3 - TWWC (Write Collision Flag - kolize při zápisu) je automaticky nastaven pokaždé, když chceme zapisovat data do registru TWDR a bit TWINT je stále nastaven na nulu. Nulování tohoto bitu probíhá automaticky, když je TWINT v poloze log. 1.

Bit 2 - TWEN (TWI Enable - povolení TWI) povoluje komunikaci na sběrnici. Když je v log. 0, je TWI zakázáno.

Bit 0 - TWIE (TWI Interrupt Enable - povolení přerušení od TWI) je bit, kterým se společně s bitem I ve stavovém registru povoluje přerušení od TWI.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	–	TWPS1	TWPS0	TWSR
Read/Write	R	R	R	R	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	1	1	1	1	1	0	0	0	

Obr. 3.21 - Registr TWSR (ATMEL, 2011)

Pokaždé, když na sběrnici TWI proběhne nějaká operace, zapíše se do registru TWSR číslo, které určuje, jak operace proběhla. Toto číslo zjistíme z bitů TWS3 až TWS7. Na pozici 0 a 1 jsou bity, které jsou děličkou frekvence SCL.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TWD7	TWD6	TWD5	TWD4	TWD3	TWD2	TWD1	TWD0	TWDR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	1	1	1	1	1	1	1	1	

Obr. 3.22 - Registr TWDR (ATMEL, 2011)

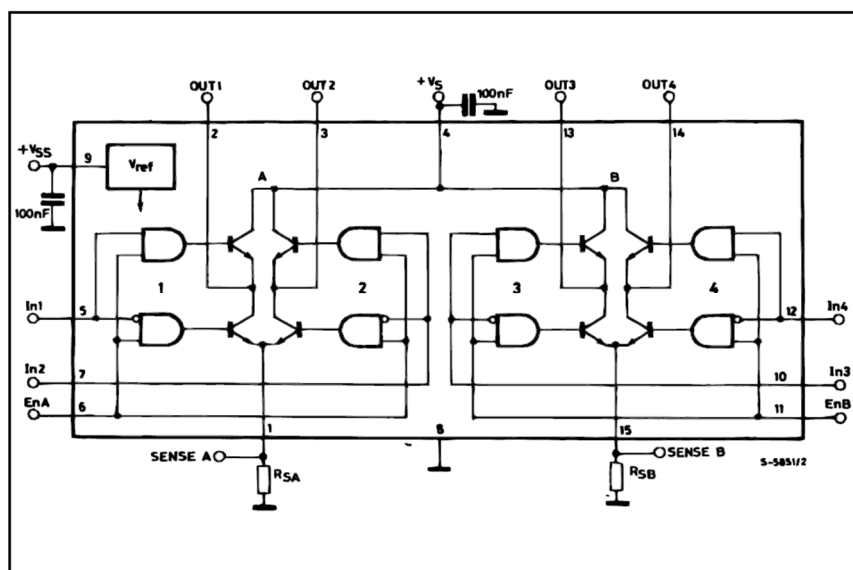
TWDR je registr pro data a adresy, které se posílají po sběrnici TWI. V režimu master jsou v tomto registru data a adresy. V režimu slave jsou do tohoto registru ukládány hodnoty, které vyslalo zařízení typu master. Tento registr obsahuje vždy poslední přijatý byte.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE	TWAR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	1	1	1	1	1	1	1	0	

Obr. 3.23 - Registr TWAR (ATMEL, 2011)

V registru TWAR je uložena adresa slave zařízení, které komunikuje na sběrnici I2C. Adresa je sedmibitová a na posledním bitu (TWGCE) je určen k rozpoznání obecného volání (PHILIPS, 2003; HW, 2000; DHservis, ©2014; TIŠNOVSKÝ, 2009, BESTMICROCONTROLLERPROJECTS, ©2014).

3.2 H-můstek



Obr. 3.24 - Struktura H-můstku (STMICROELECTRONICS, 2000)

Pro ovládání pohonu motorů jsem využil integrovaný obvod L298N, tzv. H-můstek. Tento integrovaný obvod přijímá data z mikroprocesoru a pomocí připojeného 6V vedení pohání elektromotory. H-můstek lze vytvořit pomocí tranzistorů, ale v modelu byl použit již obvod integrovaný. Každý motor je ovládán třemi signály - IN1, IN2 a ENABLE.

Signál EN povoluje činnost můstku, signály IN1 a IN2 určují směr. Signál EN lze dobře využít na regulaci rychlosti pomocí PWM.

Tab. 3.3 - Nastavení chodu motoru (STMICROELECTRONICS, 2000)

Vstupy		Funkce
ENABLE = 1	IN1 = H	Chod vpřed
	IN2 = L	
	IN1 = L	Chod vzad
	IN2 = H	
	IN1 = IN2	Rychlé zastavení motoru
ENABLE = 0	IN1 = X	Volný chod
	IN2 = X	Zastavení motoru
H = log. 1, L = log. 0, X = na stavu nezáleží		

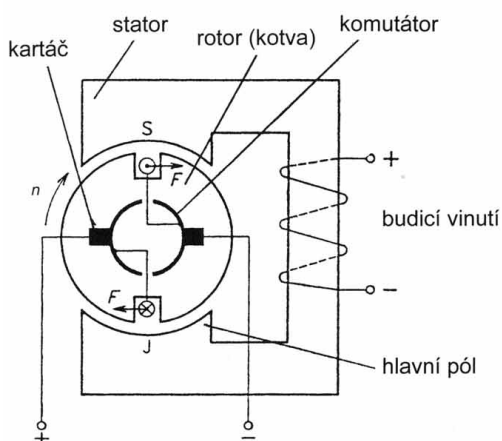
Pro správnou funkci H-můstku a správného chodu motorů musíme dodržet několik zásad zapojení. Zapojení je doplněno o rekuperační diody, které omezují na přípustnou hodnotu

napětíové špičky. Tyto špičky vznikají při rychlém rozpínání indukční zátěže, v našem případě elektromotor. Pro ochranu výkonových tranzistorů v H-můstku je nutné použít diody, které mají spínací čas menší než 200 ns. Proto jsou v zapojení použity diody UF4007 se spínacím časem 75 ns. Dále je třeba hlídat proud protékající motory, resp. H-můstky. Proud motorem by neměl přesáhnout hodnotu 2 A. Hodnotu proudu měříme konektorem SENSE a její maximální hodnotu lze softwarově omezit. Dále je vhodné ošetřit vstupy do H-můstku pull-up rezistory. Rezistory zamezí náhodnému sepnutí motorových výstupů. Tyto odpory by měly mít hodnotu přibližně 10 k Ω (STMICROELECTRONICS, 2000; HOBBYROBOT, 2012).

3.3 Stejnosměrný motor

Stejnosměrný motor je historicky nejstarším typem motoru, nejdříve využívaný jako generátor pro výrobu stejnosměrného proudu (FAMOUSBELGIANS, ©2009).

Stejnosměrný motor je řízen stejnosměrným proudem. Motor se skládá ze tří základních částí - stator, rotor a komutátor.



Obr. 3.25 - Princip elektromotoru (ELEKTRIKA, 2008)

Stator je pevně stojící část, která je obvykle tvořena magnetickým obvodem. Magnetické pole statoru je tvořeno buď permanentním magnetem, nebo dynamoplechy, v nichž jsou drážky pro umístění cívek. Otáčející se část se nazývá rotor.

Rotor je tvořen cívkami, do nichž je přiváděn elektrický proud. V cívkách se vytvoří rotorové magnetické pole. Vzájemným působením statorového a rotorového magnetického pole dojde k pohybu rotoru.

Komutátor je umístěn na rotoru a slouží jako rotační usměrňovač. Přepíná směr proudu v rotorových cívkách tak, aby byla vždy napájena cívka pod aktivním pólem. Rychlost otáčení motoru se mění se změnou elektrického napětí v rotoru.



Obr. 3.26 - Rotor a drážkový komutátor (SOPO, 2008)

Moment je přímo úměrný proudu procházejícímu kotvou v celém pásmu zatížení motoru. Platí pouze za předpokladu konstantního magnetického toku ($I_F = \text{konst.}$):

$$M = C_M \cdot \Phi \cdot I \quad (3.6)$$

M je moment, C_M je konstanta závislá na uspořádání motoru, Φ je tok magnetickým polem a I je proud kotvou.

Pro indukované napětí platí vztah:

$$U_i = C_U \cdot \Phi \cdot n \quad (3.7)$$

U_i je indukované napětí, C_U je konstanta závislá na uspořádání motoru, Φ je tok magnetickým polem a n jsou otáčky motoru.

Napěťová rovnice motoru:

$$U_i = U - I \cdot \sum R - U_K \quad (3.8)$$

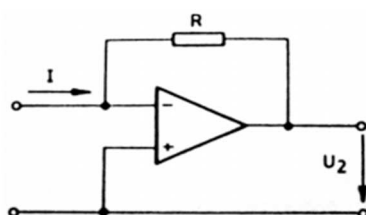
Rovnice 3.8 říká, že indukované napětí U_i je dáno svorkovým napětím sníženým o úbytky napětí. Úbytek daný vztahem $I \cdot \sum R$ se rovná součtu odporů v obvodu kotvy (vinutí kotvy, kompenzační vinutí, vinutí pomocných pólů), proudu, který jimi prochází, a napětím U_K , což je úbytek napětí na kartáčích (cca 1,5 - 3 V) (POHONNATECHNIKA, ©2014; ELEKTRIKA, 2008; VRÁNA aj., 2006; NOVÁK, ©2014; SOKOL, ©2014).

3.4 Operační zesilovač

3.4.1 OZ LM358

Pro převod proudu na napětí jsem využil operační zesilovač LM358. Převod vychází z Ohmova zákona. V tomto případě:

$$U_{\text{VÝSTUPNÍ}} = -I \cdot R \quad (3.9)$$



Obr. 3.27 - Zapojení OZ jako převodník proud/napětí (DLABOS, nedatováno)

Vstupní odpor operačního zesilovače je velký, proud prochází zpětnovazebním odporem R. Vzhledem k velkému zesílení OZ se zpětná vazba snaží udržet napětí blízké potenciálu neinvertujícího vstupu, tedy nulové. Výstupní napětí je úbytek napětí na odporu R.

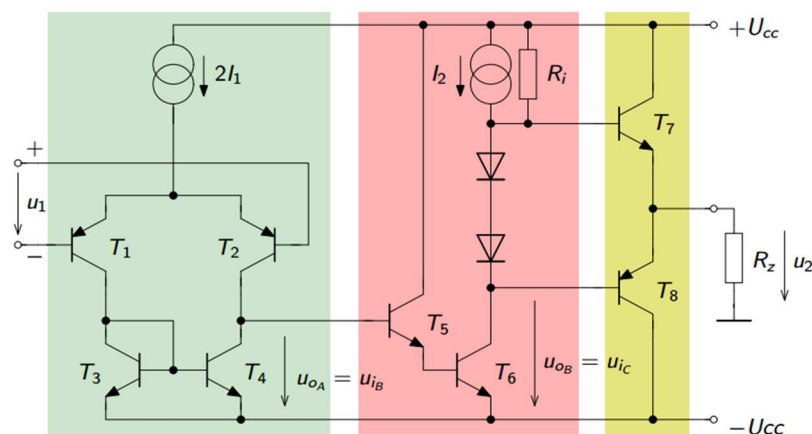
3.4.2 Operační zesilovač

Operační zesilovač je analogová polovodičová součástka, která se vyrábí jako integrovaný obvod. Parametry ideálního operačního zesilovače jsou:

Tab. 3.4 - Parametry ideálního OZ (BAKAL, 2006)

Napěťové zesílení	$A_U = \infty$
Vstupní impedance	$Z_{\text{VSTUPNÍ}} = \infty$
Výstupní impedance	$Z_{\text{VÝSTUPNÍ}} = \infty$
Frekvenční rozsah	$f = (0; \infty)$
Drift a offset	0
Dokonalá linearita a symetrie	

Skutečné operační zesilovače se svými parametry pouze blíží parametrům ideálního operačního zesilovače. Technologie výroby OZ umožnila, že skutečné zesilovače se blíží těmto parametrům, ale pouze u prvních třech. Název operační zesilovač vychází z historie. Dříve se využíval pro matematické funkce, dnes má mnohem více využití (KONÍČEK, 2007).



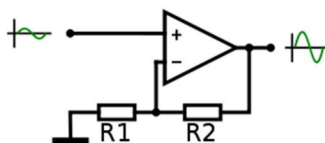
Obr. 3.28 - Struktura OZ (HOSPODKA, 2007)

Operační zesilovač je tvořen 3 zesilovacími stupni. Vstupní část je zapojena jako rozdílový zesilovač vstupních signálů U_+ a U_- . Dále je umístěn jeden nebo více středních zesilovacích stupňů, které zajišťují velké napěťové a proudové zesílení. Koncový stupeň slouží jako výkonový zesilovač a odděluje operační zesilovač od zátěže (CHMIEL aj., 2014; WIKIPEDIA, 2014a, ZDENALOS, 2004).

3.4.2.1 Zapojení s operačním zesilovačem

Operační zesilovač lze využít pro změnu vstupního signálu, sčítání signálů, filtr a pro mnoho dalších funkcí. Zpětná vazba je propojení výstupu na vstupu. Když je zpětná vazba kladná, tak se zvýší zesílení, ale vede k nestabilitě obvodu. Zpětná vazba může způsobit rozkmitání obvodu.

Neinvertující zapojení se zpětnou vazbou



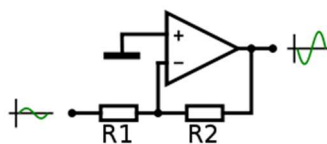
Obr. 3.29 - Neinvertující zapojení (WIKIKNIHY, 2013)

Rezistory R_1 a R_2 tvoří napěťový dělič. Zesílení spočítáme podle vztahu:

$$A = \frac{U_{\text{VÝSTUPNÍ}}}{U_{\text{VSTUPNÍ}}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (3.10)$$

Z rovnice 3.10 plyne, že výstupní napětí bude vždy větší než napětí vstupní.

Invertující zapojení se zpětnou vazbou



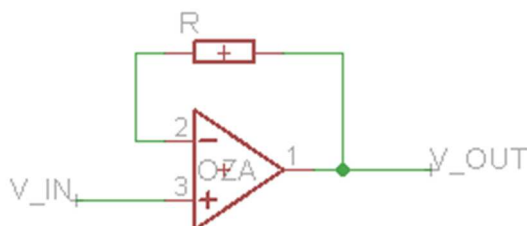
Obr. 3.30 - Invertující zapojení (WIKIKNIHY, 2013)

Vstupní napětí je přivedeno přes odpor R1 na invertující vstup zesilovače. Zesilovač toto napětí zesílí, tudíž se objeví na výstupu zesílené vstupní napětí, ale s opačnou polaritou. Výstupní napětí je přes odpor R2 přivedeno na invertující vstup OZ, ale má opačnou polaritu, a proto zmenšuje vstupní napětí.

$$A = \frac{U_{VÝSTUPNÍ}}{U_{VSTUPNÍ}} = -\frac{R2}{R1} \quad (3.11)$$

Ze vztahu plyne, že zesílení je dáno poměrem odporů R1 a R2, ale výstupní napětí bude vždy invertované.

Napěťový sledovač



Obr. 3.31 - Napěťový sledovač

Zapojení je obdobné jako u neinvertujícího zesilovače. Zesílení tohoto zapojení je 1. Toto zapojení má velký vstupní odpor, a proto nezatěžuje předcházející člen. Naopak je schopno dodávat poměrně velký výstupní výkon v řádu mW.

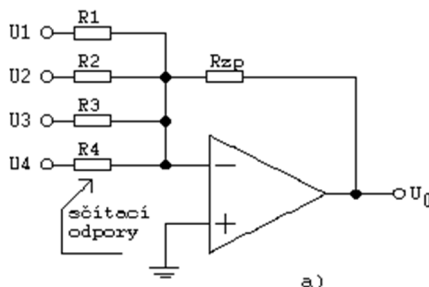
Součtový zesilovač

Sumátor je rozšířením invertujícího zesilovače o další signálové zdroje připojené přes sčítací odpory k zápornému vstupu zesilovače. Proudů, které protékají skrz sčítací odpory, jsou ve sčítacím uzlu sečteny a souhrnně odeslány. Výstupní napětí lze popsat vztahem:

$$U_0 = -R_{ZP} \left(\frac{U1}{R1} + \frac{U2}{R2} + \frac{U3}{R3} + \frac{U4}{R4} \right) \quad (3.12)$$

Pokud $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_{ZP}$, může se rovnice 3.12 upravit a vyjde nám vztah:

$$U_0 = -(U_1 + U_2 + U_3 + U_4) \quad (3.13)$$



Obr. 3.32 - Součtový zesilovač (MORAVEC, ©2014a)

Rozdílový zesilovač

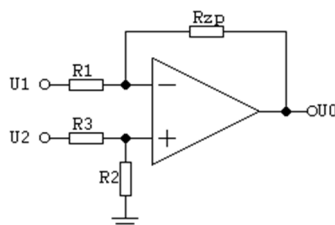
Výstupní napětí je úměrné rozdílu vstupních napětí. Toto zapojení lze chápat jako invertující zesilovač zesilující napětí U_1 a neinvertující zesilovač zesilující U_2 . Musí být dodržena konstrukční podmínka:

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_{ZP}}{R_2} \quad (3.14)$$

Z toho plyne, že poměr odporů R_2 a R_3 musí být stejný jako poměr odporů R_{ZP} a R_1 .

Výstupní napětí je dáno vztahem:

$$U_0 = \frac{R_{ZP}}{R_1} (U_2 - U_1) \quad (3.15)$$



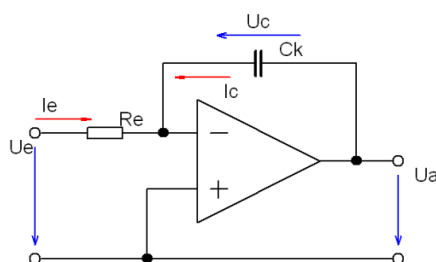
Obr. 3.33 - Rozdílový zesilovač (MORAVEC, ©2014b)

Integrační zesilovač

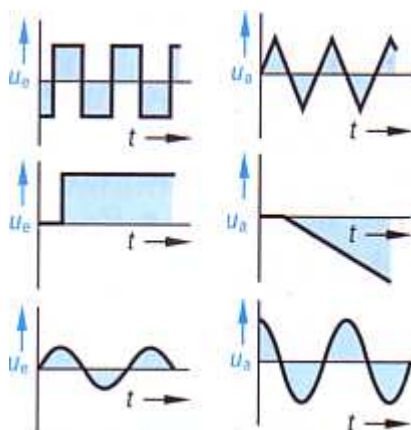
Integrační zesilovač provádí integraci vstupního signálu. Výpočet výstupního napětí je podle vzorce:

$$U_{VÝSTUPNÍ} = \int_0^t -\frac{U_{VSTUPNÍ}}{RC} dt + U_{t=0} \quad (3.16)$$

$U_{t=0}$ je napětí, které bylo na výstupu v době zahájení integrace.



Obr. 3.35 - Integrační zesilovač (PETAN, 2012b)



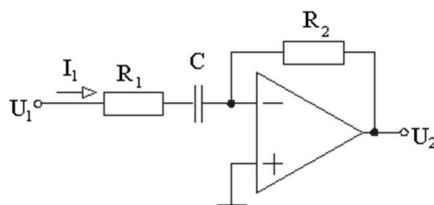
Obr. 3.34 - Odezvy integračního zesilovače (PETAN, 2012b)

Integrační zesilovač je možné využít také jako filtr, konkrétně dolní propust.

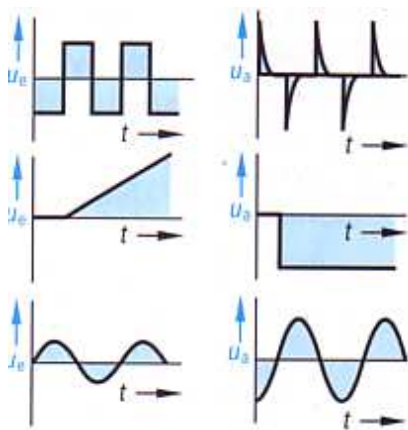
Derivační zesilovač

Derivační zesilovač derivuje vstupní signál. Výstupní napětí je dáno vzorcem:

$$U_{VÝSTUPNÍ} = -RC \left(\frac{dU_{VSTUPNÍ}}{dt} \right) \quad (3.17)$$



Obr. 3.37 - Derivační zesilovač (HEJDA, 2004)



Obr. 3.36 - Odezvy derivačního zesilovače (PETAN, 2012b)

Derivační zesilovač je možné využít také jako filtr, konkrétně horní propust (WIKIKNIHY, 2013; WIKIPEDIA, 2013a ; PETAN, 2012a; PETAN, 2012b; BAKAL, 2006; AMAPRO, ©2014).

3.5 Displej a klávesnice

K informování uživatele a k zadání požadovaného cyklu mytí jsem použil textový displej. Displej má 4 řádky a 20 sloupců. Modul s textovým displejem je přes 16 pinový konektor připojen k desce pro ovládání displeje. K této desce jsou přivedeny konektory k pěti tlačítkům, které slouží pro pohyb v menu. Celá tato deska je připojena 14 pinovým konektorem k desce master.

3.5.1 Ovládání displeje

K displeji je přiveden 16 bitový konektor, který obsahuje vodiče pro napájení modulu, napájení podsvícení, pin pro nastavení kontrastu a 11 pinů pro ovládání displeje. Těchto 11 pinů obsahuje piny RS a R/W. Pin RS slouží pro přepínání instrukcí a dat. Pinem R/W se volí mezi zápisem na displeji a čtením z displeje. Tento bit je v našem případě uzemněn, protože displej

používáme jen jako zobrazovací prvek a nepotřebujeme používat displej jako paměť. Dalším pinem je E, kterým se posílá hodinový signál pro displej. Zbývá 8 pinů, které slouží pro přenos dat, tyto bity se označují DB0 - DB7. Existují dva způsoby přenosu dat. Buď se využije všech 8 bitů, nebo lze komunikovat pouze pomocí 4 bitů, kde piny DB0 - DB3 jsou uzemněny. 4 bitová komunikace je o polovinu pomalejší, protože se nejprve přenesou horní polovina bytu, vygeneruje se pulz na E a poté se dále pošle dolní polovina bytu.

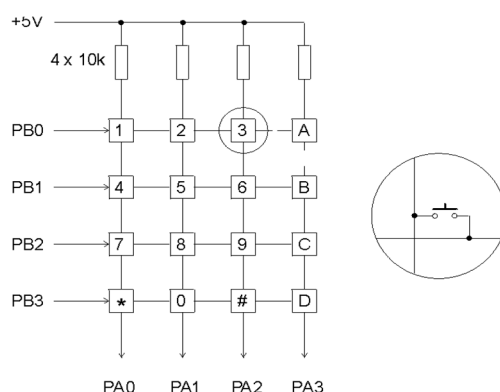
3.5.2 Ovládání klávesnice

Pro obsluhu klávesnice mikroprocesorem je použit nejjednodušší princip, a to připojení jednoho tlačítka na jeden pin mikroprocesoru. Dalšími způsoby připojení klávesnice k mikrokontroleru jsou např. maticová klávesnice nebo klasická klávesnice od stolního počítače s PS/2 konektorem.

3.5.2.1 Maticová klávesnice

Maticová klávesnice je jeden z nejjednodušších způsobů připojení více tlačítek na jeden mikroprocesor. Kdybychom chtěli ovládat 16 tlačítek klasickým způsobem, potřebovali bychom 16 vstupů mikroprocesoru. Maticovým způsobem zapojení se počet vstupů zredukuje na 8 pinů. 4 výstupy periodicky uzemňují tlačítka v jednom řádku a 4 vstupy čtou informaci o stisku tlačítka ze sloupce.

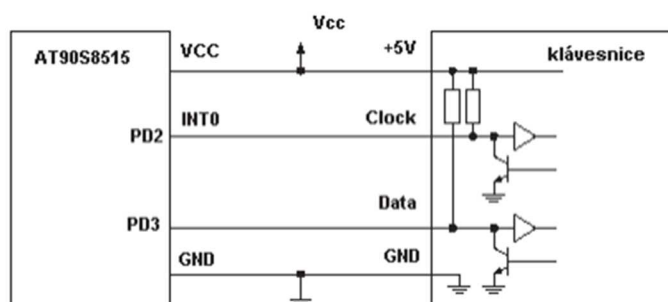
Tlačítka jsou přes pull-up odpory ve stavu log. 1. Cyklicky se posílá signál log. 0 na porty PB0 až PB3 a na portech PA0 až PA3 se zaznamenává stisk klávesnice. Když je klávesnice stisknuta, projeví se to log. 0 na příslušném pinu, když není stisknuta, je na pinu log. 1 (KRÚPA, 2012).



Obr. 3.38 - Princip maticové klávesnice (DUDÁČEK, 2002)

3.5.2.2 Klasická klávesnice

Tento způsob ovládání jsem našel v knize Váňa (2004). Tento způsob připojení je vhodný, potřebujeme-li větší počet kláves. Klávesnice obsahuje klasicky 102 kláves a mikrokontrolér, který neustále sleduje stav matice spínačů. Když mikrokontrolér odhalí změnu stavu klávesy, zjistí její polohu a vybere odpovídající SCAN kód, který je vyslán po lince DATA k přijímacímu zařízení. Klávesnice se připojuje čtyřmi vodiči: +5 V, Clock, Data a GND.



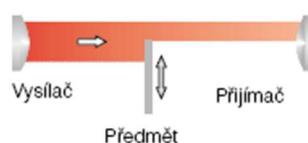
Obr. 3.39 - Připojení PC klávesnice k mikrokontroléru (VÁŇA, 2004)

Signál Clock generuje přerušení mikrokontroléru. Při přerušení se snímají vysílaná data z klávesnice. Další postup je popsán v knize Váňa (2004).

3.6 Světelná závora a dálkoměr

3.6.1 Světelná závora

Světelná závora je elektronicko-optický prvek, který indikuje přerušení světelného paprsku. V modelu mycí linky je světelná závora využita pro indikaci vjezdu a polohy auta v automyčce. Světelná závora se skládá z vysílací a přijímací diody. V tomto případě jsou diody infračervené. IR (infrared, infračervená) LED dioda vyzařuje infračervené záření s vyzařovací vlnovou délkou (760 nm - 1 mm) větší než vlnová délka světla (390–790 nm). Lidské oko není schopno zaznamenat IR záření.



Obr. 3.40 - Jednocestná optická závora (SENZORTECH, 2008)

V modelu je použita jednoduší optická závora. Tento princip zapojení je nejjednodušší a je velmi vhodný pro nepříznivé podmínky jako například prach, vlhko a olej (CHARLIE, 2012; PISKAČ, 2011; PANDATRON, ©2013).

3.6.2 NE555 a TSOP4836

Vysílač pro optickou závora je tvořen časovačem NE555, který bliká čtyřmi diodami frekvencí 36 kHz. Tato frekvence je použita, protože přijímač tvořený přijímací diodou TSOP4836 pracuje právě na této frekvenci.

Časovač 555 pracuje jako astabilní klopný obvod (AKO), generátor pravoúhlého signálu, na jehož výstupu se pravidelně střídají logické úrovně. Doba trvání v sepnutém či rozepnutém stavu je dána hodnotami odporů a kondenzátoru. Tyto časy se vypočítají podle následujících vztahů:

$$t_{NAB} = \ln(2) \cdot C(R1 + R2) \quad (3.18)$$

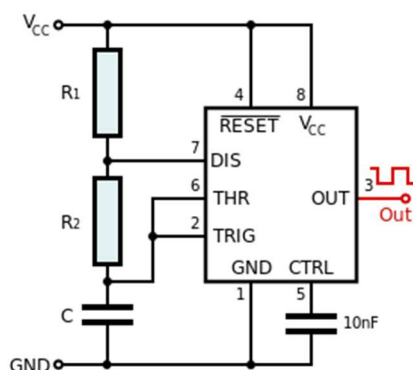
$$t_{VYB} = \ln(2) \cdot C \cdot R2 \quad (3.19)$$

Při konstrukci pravoúhlého signálu s poměrem střídý 1:1 musíme hodnoty rezistorů R1 a R2 volit tak, aby platily předchozí vzorce, a navíc musí platit:

$$R2 = R1 + R2 \quad (3.20)$$

Rezistor R1 ale musí mít nenulovou hodnotu, protože by při vybíjení kondenzátoru nastal zkrat napájecího zdroje. Proto se v praxi volí rezistory tak, aby platilo že:

$$R1 \ll R2 \quad (3.21)$$

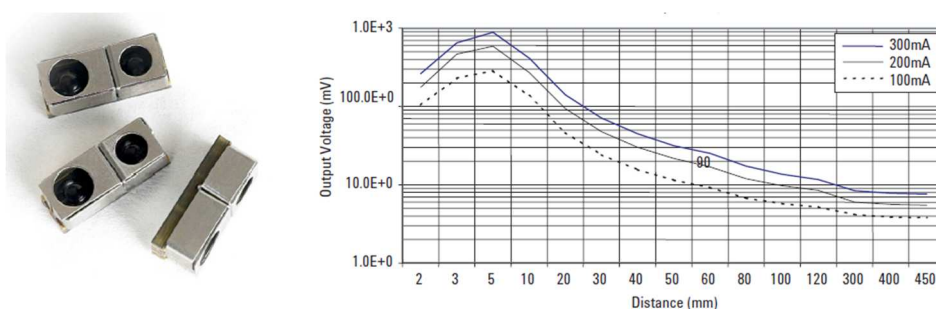


Obr. 3.41 - Zapojení časovače 555 jako AKO (WIKIPEDIA, 2013c)

V praxi se například volí $R1 = 1 \text{ k}\Omega$ a $R2 = 100 \text{ k}\Omega$ (PANDATRON, 2008; WIKIPEDIA, 2013c).

3.6.3 Dálkoměr

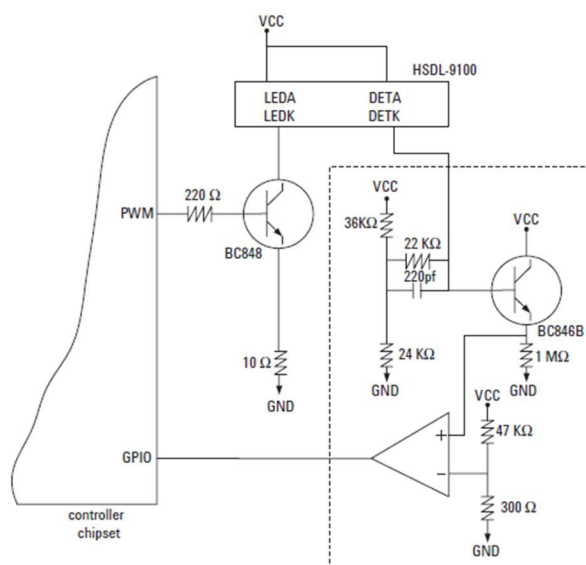
Pro přesné určení vzdálenosti modelu auta od kartáče jsem využil dálkoměrů od firmy Agilent, HSDL-9100. Tento dálkoměr má malé rozměry a je vhodný pro měření vzdáleností od 2 do 450 mm. Dálkoměr jsem umístil na desku, na které jsou umístěny pomocné obvody pro určení vzdálenosti.



Obr. 3.42 - Dálkoměr HSDL-9100 a graf závislosti výstupního napětí na vzdálenosti od překážky (AGILENT, 2005)

Dálkoměr funguje na principu světelné závory, ale pomocí obvodů na desce je schopen určit přesnou vzdálenost.

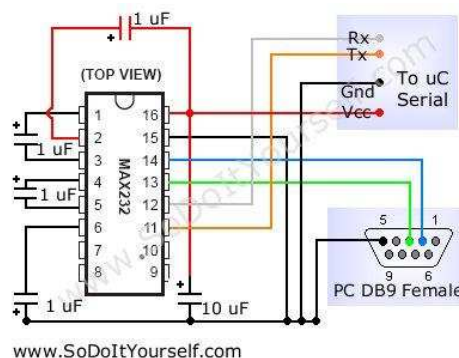
Vstupem na desku je PWM signál o stabilním kmitočtu a výstupem je analogový signál, jehož velikost odpovídá vzdálenosti snímače od překážky (AGILENT, 2005).



Obr. 3.43 - Pomocný obvod pro vyhodnocení vzdálenosti (AGILENT, 2005)

3.7 MAX 232

MAX232 je velmi často používaný převodník úrovní RS-232 na TTL úrovně. Tento převodník jsem zvolil do modelu linky. MAX232 potřebuje pro svůj chod pouze napájení TTL a signály RxD a TxD, které jsou do něj přivedeny z mikroprocesoru na desce master.



Obr. 3.44 - Zapojení MAX232 (SODOITYOURSELF, 2007)

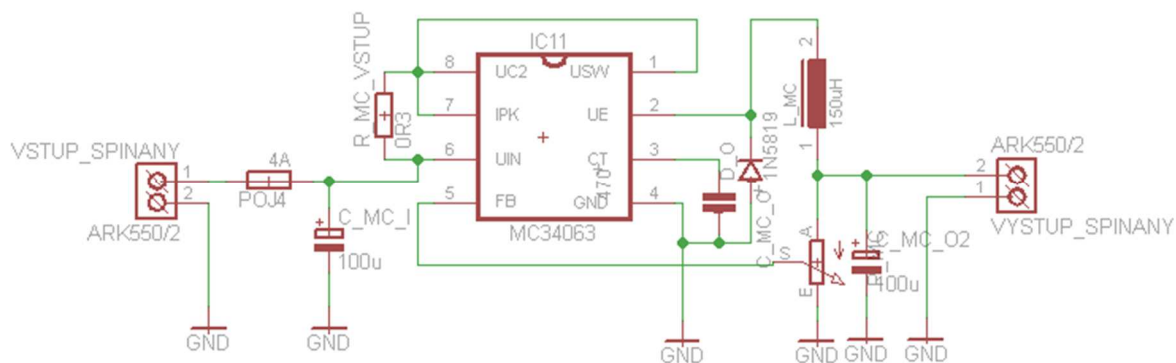
Signály RxD a TxD jsou vyvedeny z modelu na přední panel, aby bylo možné ovládat model přes PLC nebo PC (CHYTIL, 2007; ZIMA, 2006, SODOITYOURSELF, 2007).

3.8 Napájení

Aby mohla linka pracovat, musí být do ní přiveden napájecí kabel. Napájení je vyřešeno síťovým 12V zdrojem. Uvnitř modelu se 12 V musí stabilizovat na 5 V. Tato stabilizace je zajištěna na samostatné desce napájení. Tím, že je použito již 12V stejnosměrné napětí, odpadá nutnost usměrňovat toto napětí. Ke snížení napětí z 12 V na 5 V jsem použil 2 stabilizátory napětí. Nejdříve je nutné 12 V snížit na napětí cca 8 V. Ke snížení napětí dochází na desce se spínaným stabilizátorem obsahující obvod MC34063. Pro stabilizování 5V napětí je použit stabilizátor 78S05. Motory jsou 6V, proto se ještě musí 12 V převést na těchto 6 V. Tento převod je také realizován spínaným zdrojem. Za tímto zdrojem již nemusí být 6V stabilizátor, protože toto napětí slouží pouze pro napájení motorů.

3.8.1 Spínaný DC-DC měnič s obvodem MC34063

Integrovaný obvod MC34063 lze použít v několika variantách zapojení. Tento obvod lze zapojit jako obvod, který zvětšuje napětí (step-up) nebo obvod pro snížení napětí (step-down), anebo jako zdroj záporného napětí. Všechny varianty je také možné upravit tak, aby byl na výstupu vyšší výstupní proud. V modelu je potřeba napětí snížit, a proto je vybrán typ zapojení step-down s větším výstupním proudem.



Obr. 3.45 - Schéma zapojení spínaného zdroje (HAVLÍČEK, 2014)

Výstupní napětí je možné regulovat pomocí odporového trimru, kterým určujeme poměr odporů R_{sa} a R_{se} . Napětí je pak dáno vztahem:

$$U_{VYSTUPNI} = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_{sa}}{R_{se}} \right) \quad (3.22)$$

Výstupní napětí je nastaveno na cca 8 V, protože další stabilizátor 78XX by měl mít na svém vstupu napětí nejméně o 3 V větší než je výstupní stabilizované napětí (STRÁTESKÝ, nedatováno; HAVLÍČEK, 2014).

3.8.2 Stabilizátor 78S05

Stabilizátory řady 78xx stabilizují kladné napětí proti zemi. Tato řada se dále pak dělí na další podskupiny. Základní skupinou je řada 78xx. Tyto stabilizátory mají proudovou ochranu nastavenou na 1 A, který je stabilizátor schopen dodávat. Dalšími skupinami jsou 78Sxx, který dodává max. 2 A. 78Txx má na svém výstupu max. 3 A. Proud dodávaný stabilizátorem může být i nižší. Stabilizátor 78Lxx dodává max. proudy do 0,1 A a 78Mxx mají pojistku nastavenou na 500 mA. Místo znaků xx je u stabilizátorů hodnota napětí, na kterou stabilizují. Označení, které lze v obchodech najít, jsou: 05, 06, 08, 09, 10, 12, 15, 18, 20 a 24, což znamená napětí: 5 V, 6 V, 8 V, 9 V, atd. V modelu je použit stabilizátor 78S05. Tímto stabilizátorem bude napětí stabilizováno na 5 V a maximální proud bude 2 A (CHYTIL, 2006).

4 Realizace řídicího software mikropočítače řídicí jednotky

Program mycí linky je napsán v jazyce Bascom. „Bascom-AVR je překladač (kompilátor) pro rodinu procesorů řady AVR, který vychází i ze snadno pochopitelné syntaxe jazyka Basic. Hlavní výhodou je jednoduchost programování a podpora velkého množství externího hardwaru, ke kterému se přistupuje opravdu jednoduchým způsobem. Kompilátor má také integrovaný simulátor a programátor, který podporuje většinu ISP programátorů (na paralelní port LPT, na sériový COM i na USB). Součástí jsou i knihovny pro řízení flash karet, harddisků a dalších zařízení prostřednictvím systému AVR-DOS, který podporuje souborový systém FAT16 a FAT32. Více na stránkách výrobce MCS Electronics.“ (MCSELEC, ©2014).

Program slave zařízení je na všech jednotkách stejný. Master jednotka se stará o kontrolu chodu a zobrazování informací pro uživatele na displej. Na desce master je také zhotoven převodník MAX232, kterým lze komunikovat s okolím, jako například s PC nebo s PLC (SM-LOMOS, ©2014; MCSELEC, ©2014). Dále jsou z desky vyvedeny konektory pro připojení semaforu, který řídí provoz v mycí lince. Po vjetí auta do linky semafor řidiči ukazuje, jestli již stojí na správném místě nebo jestli má ještě jet dále. Po dokončení procesu mytí je informován rozsvícením zeleného světla, že může linku opustit. Pohyb automobilu v prostoru mycí linky je kontrolován optickými závorami. V následující části je popsán průběh celého cyklu chodu linky. Cyklus začíná zapnutím linky, pokračuje přes proces mytí, odjezd auta až po vypnutí zařízení.

4.1 Příprava linky

Zapnutí napájení je první činností, kterou musí obsluha mycí linky provést, aby bylo možné s linkou jakýmkoliv způsobem pracovat. Po zapnutí napájení jednotka master ověří všechny slave zařízení. Toto ověření probíhá po sběrnici. Do řídicí jednotky se uloží informace o jednotlivých slave zařízeních, co umí a k čemu slouží. Tyto příkazy jsou předem definovány. Po zjištění slave jednotek musí portál mycí linky dojet na výchozí pozici. Po dojetí na místo jsou všechny tři kartáče zaparkovány ve vnější krajní poloze, aby mezi nimi vznikl co největší prostor. O průběhu tohoto procesu je obsluha linky informována prostřednictvím signalizace semaforu. Do této doby svítí červené světlo. Po inicializaci kartáčů se rozsvítí zelené světlo na semaforu, kterým je obsluha informována o připravenosti linky pro vjezd automobilu. Zelené světlo svítí cca 5 vteřin a pak zhasíná. Když zhasne zelené světlo, začne blikat oranžové, které signalizuje možnost zadání příslušného mycího programu řidičem automobilu.

4.2 Vjezd automobilu

Po zvolení mycího programu se rozsvítí zelené světlo, které oznamuje, že automobil může vjet do prostoru linky. Po překročení první světelné závory se rozsvěcí oranžové světlo, kterým je dáván signál řidiči o tom, že má zpomalit, protože dojíždí k místu, odkud bude zahájen proces mytí. Dosažení počátečního místa je signalizováno rozsvícením červeného světla. Na tomto místě řidič vypíná motor auta a zatahuje ruční brzdu, aby se automobil nemohl pohnout.

4.3 Proces mytí

Automobil stojí na správném místě a může začít proces mytí. Nejdříve je nutné, aby kartáče přijely k automobilu tak, aby se štětiny kartáče při otáčení dostatečně dotýkaly vozu. Tato vzdálenost je kontrolována optickými snímači vzdálenosti. Slave jednotka, která obsluhuje kartáče, má na starosti ovládání 2 motorů. Jeden motor slouží k pohybu kartáče a druhý slouží k otáčení kartáče. Spodní jednotka slave se stará o pohyb portálu po lince. Tato jednotka ovládá pouze jeden motor. Až kartáče najedou do výchozí polohy, vyšle každé slave zařízení tuto informaci jednotce master. Po obdržení čtyř informací o najetí kartáčů do výchozí polohy spouští master proces mytí. Slave jednotky se starají o pohyb kartáčů podél automobilu a o pohyb portálu okolo automobilu. Procesy mytí mají různé způsoby pohybu linky.

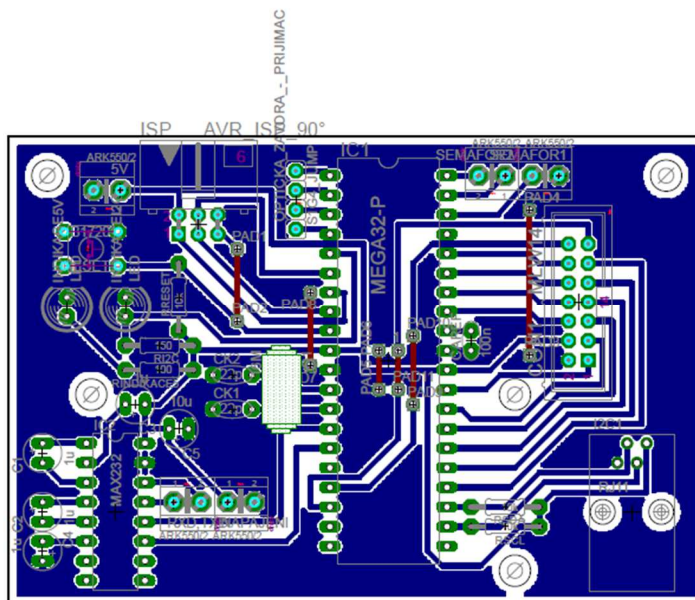
4.4 Výjezd automobilu

Po dokončení procesu mytí se linka vrátí do výchozí polohy. Zhasne červené světlo a asi na 5 sekund se rozsvítí zelené, které informuje řidiče o tom, že může opustit linku. Opuštění linky je zaznamenáno čtvrtým senzorem. Po zhasnutí zeleného světla se rozsvěcí oranžové do té doby, než automobil zcela opustí prostor linky. Po odjezdu automobilu se rozbliká oranžové světlo a linka je připravena pro dalšího zákazníka.

5 Realizace řídicí elektroniky

5.1 Master

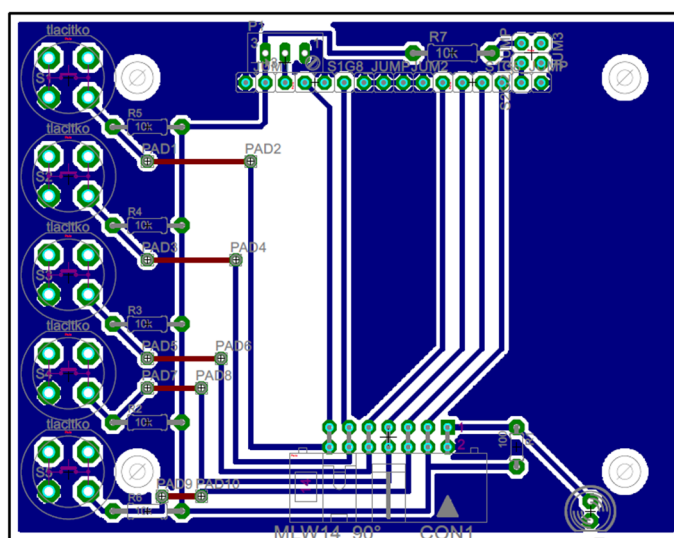
Jednotka master je řídicí jednotka, která se stará o chod celého zařízení přes I2C sběrnici. Z této jednotky jsou vyvedeny konektory RxD a TxD pro připojení PLC nebo PC.



Obr. 5.1 - Předloha Master zařízení

5.1.1 Displej

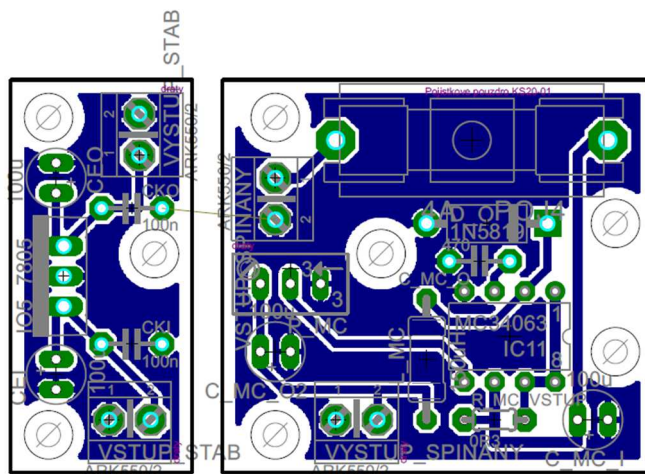
Data z mycí linky se zobrazují na LCD displeji. Na desce je 5 tlačítek, které slouží k pohybu v menu mycí linky.



Obr. 5.2 - Předloha displeje

5.1.2 Zdroj 5 V

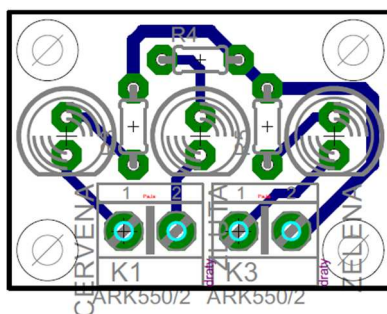
Model je připojen k laboratornímu zdroji, který má výstupní napětí 12 V. Toto napětí musíme stabilizovat nejprve na cca 8 V a poté lineárním stabilizátorem převést na 5 V.



Obr. 5.3 - Předloha zdroje, vlevo stabilizovaný, vpravo spínaný

5.1.3 Semafor

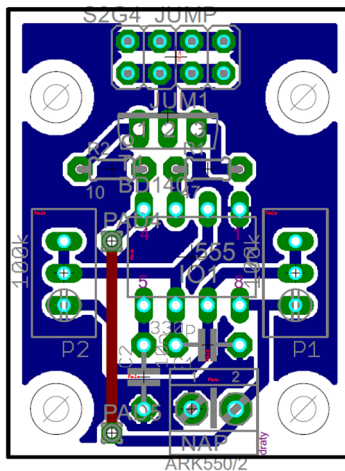
K řízení provozu v prostoru mycí linky nám slouží deska se semaforem.



Obr. 5.4 - Předloha semaforu

5.1.4 Optická závora

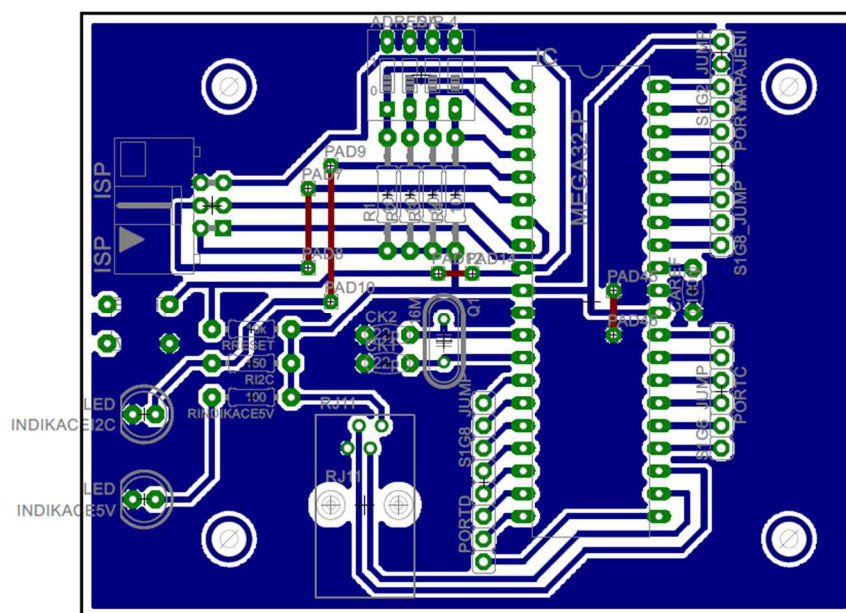
Ke zjištění polohy automobilu v prostoru mycí linky je využito 4 optických závor.



Obr. 5.5 - Předloha optické závory - vysílače

5.2 Slave

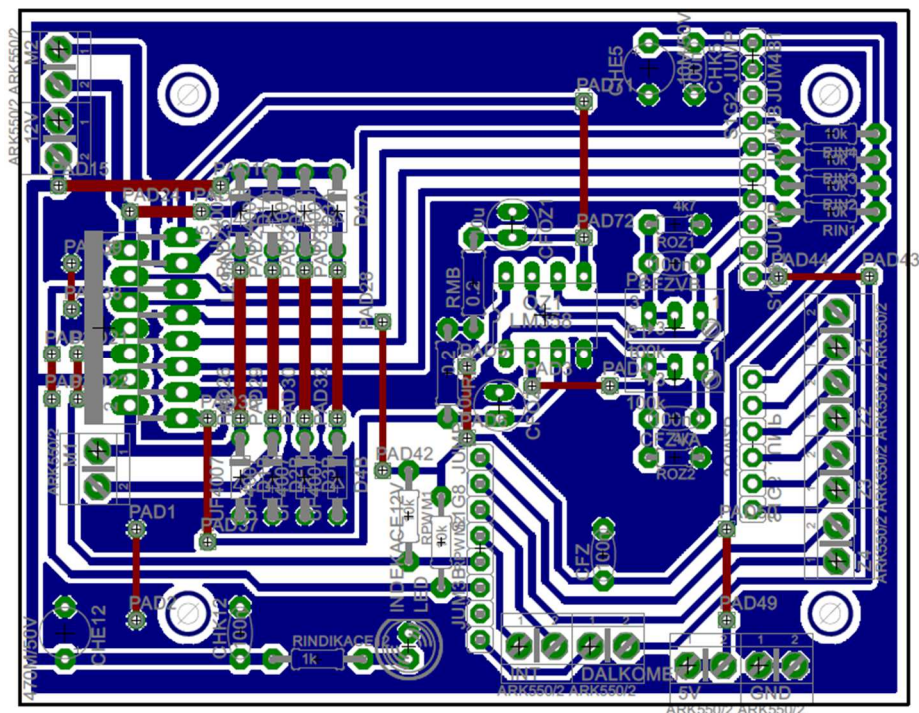
Slave jednotka se stará o chod motorů, polohu motorů a předává informace master zařízení.



Obr. 5.6 - Předloha slave zařízení

5.2.1 Řízení motorů

Správný chod motoru zajišťuje deska pro řízení motoru společně s deskou slave.



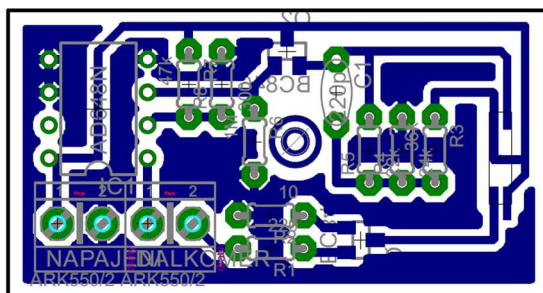
Obr. 5.7 - Předloha desky řízení motorů

5.2.2 Zdroj 6 V

Tato deska napájí vždy dvojici motorů, protože na výstupu máme maximálně 2 A, což je pro napájení 2 motorů dostačující, viz obr. 5.4.

5.2.3 Dálkoměr

K určení vzdálenosti vozidla a kartáče je využita deska s dálkoměrem.



Obr. 5.8 - Předloha dálkoměru

6 Závěr

6.1 Úpravy mechanické části

Elektronické moduly jsem rozmístil na mechanické konstrukci modelu tak, aby byly v místě, které řídí, nebo v místě, které je pro ně logicky výhodné. Mechanická konstrukce byla upravena pro použití nových, rychlejších stejnosměrných motorů. Nové motory umožňují rychlost pohybu srovnatelnou s rychlostí skutečné mycí linky (v příslušném měřítku).

6.2 Úpravy elektronické části

Elektronika modelu je založena na multiprocesorové konstrukci. Tato konstrukce svým konceptem a uspořádáním umožňuje velmi snadnou modifikaci, a tím i modernizaci modelu. Ke komunikaci modulů byla použita sběrnice I2C. Pro určení polohy automobilu je použito dálkoměrů pro měření malých vzdáleností, které dovolují měřit přesněji polohu auta. K ochraně mechanické části posuvu kartáčů jsem využil mikrospínačů, které nám detekují koncové polohy. Určení polohy vozidla v prostoru mycí linky je řešeno pomocí optických závor. Komunikace s PLC je připravena buď přes RS232 a nebo přes I2C sběrnici. Diagnostika, vizualizace a ovládání modelu jsou realizovány přes tlačítkovou klávesnici a LCD displej vlastního systému.

6.3 Testování modelu automatické mycí linky

Testování modelu probíhalo po částech. Nejříve byla zařízení otestována samostatně, jako jednotlivé komponenty. Když jsem tímto způsobem odstranil viditelné chyby, tak jsem přistoupil ke druhé fázi testování. V této fázi jsem připojil všechna zařízení na sběrnici I2C. Všechna zařízení byla správně identifikována a mohl jsem začít testovat model automatické mycí linky jako celku.

6.4 Praktické využití

Laboratorní model může být použit jako atraktivní studijní pomůcka pro výuku programování řídicích aplikací se zaměřením na realizaci řídicího software, ovládání jednotlivých technických prostředků automatizace modelu, realizaci komunikace s PLC automatem, realizaci komunikace s PC (RS232, RS485). Laboratorní model lze dále rozšiřovat přidáním dalších funkcí modelu přibližujících se chováním k reálnému zařízení, např. doplnění modelu o čtečku čipových karet/čárových kódů, doplnění o vizualizační grafické rozhraní – grafický LCD displej v kombinaci s možností ručního ovládání.

Seznam literatury

- ADÁMEK, Milan, 2008. A/D a D/A převodníky - přednáška č. 14. *Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně - Ústav elektrotechniky a měření*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://www.mikroelektro.utb.cz/e107_files/downloads/pr14.pdf
- AGILENT, 2005. Agilent HSDL-9100 Miniature Surface-Mount Proximity Sensor. *Agilent*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/90547.pdf>
- AMAPRO, ©2014. Operační zesilovače. *AmaPro: Internetové stránky určené pro studenty středních a vysokých odborných škol*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://amapro.cz/datove_zdroje/knihy/operacni_zesilovace/oper_zesil_82.php
- ATMEL, 2011. 8-bit AVR Microcontroller with 32KBytes In-System Programmable Flash - ATmega32. *ATMEL*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc2503.pdf>
- AUTOFOX, 2013. Otto Christ: V Česku roste zájem firem o instalace tunelových myček. *Autofox.cz* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.autofox.cz/index.php?idx=40303>
- BAKAL, 2006. Operační zesilovače. *Státnice ČVUT-FEL 2006 Bc.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.bakal06.chytrak.cz/30—Operacni-zesilovace.pdf>
- BESTMICROCONTROLLERPROJECTS, ©2014. An I2C tutorial. *Best-microcontroller-projects.com*. [online]. [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://best-microcontroller-projects.com/i2c-tutorial.html>
- CARWASHFINDER, ©2014. History of the Car Wash. *CarWashFinder.com.au*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.carwashfinder.com.au/resources/history-car-wash>
- CECCATO, ©2008a. Automatická mycí a sušící linka: Návod pro použití a údržbu [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.tlumoceni-preklady.cz/download/6658/202.doc>
- CECCATO, ©2008b. Mytí užitkových vozů. *CECCATO.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.myci-linky.cz/myci-linky/myti-uzitkovych-vozu-autobusove-mycy.php>
- CECCATO, ©2008c. Mytí vlaků. *CECCATO.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.myci-linky.cz/myci-linky/myti-vlaku.php>
- CECCATO, ©2008d. Portálové mycí linky. *CECCATO.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.myci-linky.cz/myci-linky/portalove-myci-linky.php>

- CECCATO, ©2008e. Tunelové mycí linky. *CECCATO.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16].
Dostupné z: <http://www.myci-linky.cz/myci-linky/tunelove-myci-linky.php>
- CECCATO, ©2008f. WHEELMASTER - tlakové mytí kol. *CECCATO.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.myci-linky.cz/novinky/wheelmaster-tlakove-myti-kol.php>
- CHYTIL, Jiří, 2006. Stabilizátor 78xx a 79xx. *8bitu.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.8bitu.cz/clanek/stabilizator-78xx-a-79xx/>
- DAVISON, 2013. History Tuesday: The Car Wash. *Davison: A better way to Invent*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.davison.com/blog/2013/04/23/history-tuesday-the-car-wash/>
- DHservis, ©2014. Sběrnice I2C, o co jde a jak pracuje. *dhservis.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.dhservis.cz/iic.htm>
- DLABOS, nedatováno. OZ jako převodník proud napětí a součtový. *Dlabos.wz.cz*. [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: http://dlabos.wz.cz/en/30-OZ_jako_prevodnik_proud_napeti_a_souctovy.html
- DUDÁČEK, Karel, 2002. Cvičný modul Z80. *SIMICOS*. [online]. [cit. 2014-05-05].
Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~dudacek/Simicos/SIMICOS.htm>
- ELEKTRIKA, 2008. Princip stejnosměrných motorů. *elektrika.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16].
Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/princip-stejnosmernych-motoru/view>
- FAMOUSBELGIANS, ©2009. Zénobe Gramme. *Famousbelgians.net*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.famousbelgians.net/gramme.htm>
- GYMŠPIT, 2010. Řízení motorů. *Robot.gymspit.cz*. [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://robot.gymspit.cz/Archiv/2010/Motory/index.html>
- FIRETECH, ©2011. Mycí linka Tammermatic T700. *Tammermatic*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.firetech.cz/lux>
- HALAMKA, Jaroslav, 2012. Automatická myčka s vodou slaví jubileum, na začátku byly piliny s vodou. *AUTO.iDNES.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/mycka-aut-cbo/automoto.aspx?c=A120820_160339_automoto_hig
- HAVLÍČEK, Libor, 2014. *Zdroj* [e-mailová komunikace]. [cit. 2014-04-16].
- HEJDA, Zbyněk, 2004. Derivační zesilovač s reálným operačním zesilovačem. *Elektrorevue* 2004/7. [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: www.elektrorevue.cz/clanky/04007/index.html
- HOBBYROBOT, 2012. Tipy & triky 01/2012 – Hobbyrobot. *Hobbyrobot*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: www.hobbyrobot.cz/wp-content/uploads/TT0112.pdf

- HOSPODKA, Jiří, 2007. OZ. *Elektrické obvody - analýza a simulace: př. 7.* [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.hippo.feld.cvut.cz/vyuka/elo/pr7/oz.pdf>
- HW, 2004. Ovladač stejnosměrného motoru využívající PWM. *HW.cz.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/ovladac-stejnosmerneho-motoru-vyuzivajici-pwm.html>
- HW, 2000. Stručný popis sběrnice I2C a její praktické využití k připojení externí eeprom 24LC256 k mikrokontroléru PIC16F877. *HW.cz.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/strucny-popis-sbornice-i2c-a-jeji-prakticke-vyuziti-k-pripojeni-externi-eeeprom-24lc256>
- CHARLIE, 2012. Laserová optická závora. *Elektronovinky.cz.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.elektronovinky.cz/konstrukce/laserova-opticka-zavora>
- CHMIEL, P., KOSTKA, T., NAVRÁTILOVÁ, E., 2014. Operační zesilovač. *Střední škola, Havířov-Šumbark.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/ea/oz.pdf
- CHYTIL, Jiří, 2007. Obvod MAX232. *8bitu.cz.* [online]. [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.8bitu.cz/clanek/obvod-max232/>
- IROMEZ, ©2011. Ceník mycí linky. *IROMEZ.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.iromez.mvv.cz/Pro-zakaznika/Cenik-myci-linky/>
- JÁNEŠ, Vladimír, 2013. A/D a D/A převodníky. *Základy číslicové techniky.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://www.fd.cvut.cz/personal/janes/ZC/prednasky/prednaska13/ZC_prednaska_13.pdf
- KARAS, Ondřej, 2006. AVR – čítače. *programujte.com.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2006091410-avr-citace/>
- KARS, ©2013. Převodovky. *KARS.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.kars-brno.cz/prevodovky/>
- KONÍČEK, Zdeněk, 2007. Operační zesilovače. *Katedra fyziky Přf OU.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: artemis.osu.cz/polpo/07/04a_Operacni_zesilovace.pdf
- KRÚPA, Milan, 2012. Maticová klávesnice. *Raspberry Pi.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.astromik.org/raspi/25.htm>
- LÍČEV, Lačezar, ©2014. Atmega32 – stručně. *Katedra informatiky FEI VŠB-TUO.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: www.cs.vsb.cz/licev/apps_cviceni/atmel.pps
- MCSELEC, ©2014. BASCOM-AVR. *MCS-Electronics.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://avrhelp.mcselec.com/index.html>

- MORAVEC, Zdeněk, ©2014a. Sumační zesilovač. *Elektronika: operační zesilovač*. [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://z-moracec.net/elektronika/operacni-zesilovace/sumacni-zesilovac/>
- MORAVEC, Zdeněk, ©2014b. Diferenční zesilovač. *Elektronika: operační zesilovač*. [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://z-moracec.net/elektronika/operacni-zesilovace/diferencni-zesilovac/>
- NESLÁDEK, Zdeněk, ©2014. Vestavné mikropočítačové systémy. *rabaka.net*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.rabaka.net/czu/vms.htm>
- NOVÁK, Ivo, ©2014. Stejnoseměrný elektromotor. *emotor.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.emotor.cz/stejnosemny-elektromotor.htm>
- PANÁČEK, Jiří, 2011. Převodníky AD. *Metody vzájemného převodu analogového a digitálního signálu*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/MTVP/prednasky/ADC.pdf>
- PANDATRON, ©2013. IR závora. *Pandatron.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. ISSN 1803-6007. Dostupné z: http://pandatron.cz/?65&ir_zavora
- PANDATRON, 2008. 555 a 556 - Základní zapojení. *Pandatron.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. ISSN 1803-6007. Dostupné z: http://pandatron.cz/?490&555_a_556_-_zakladni_zapojeni
- PETAN, 2012a. Operační zesilovače, vlastnosti, napájení, zákl. zapojení. *LMS Software*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.mylms.cz/text-23-operacni-zesilovace-vlastnosti-napajeni-zakl-zapojeni/>
- PETAN, 2012b. Zapojení OZ – invertující, neinvertující, diferenciální, *LMS Software*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.mylms.cz/text-27-zapojeni-oz-invertujici-neinvertujici-diferencialni/>
- PHILIPS, 2003. Application note - I2C manual. *Philips*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10216.pdf
- PISKAČ, Václav, 2011. Laserová závora: stavba a použití. *Fyzikální šuplík*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/pretazene/laserova_zavora.pdf
- POHONNATECHNIKA, ©2014. Princip stejnosměrného (DC) motoru. *Pohonnatechnika.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/stejnosemny-motor>

- REK, Tomáš, 2009. Ověřování parametrů A/D převodníků [online]. Pardubice. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z:
https://dSPACE.upce.cz/bitstream/10195/34869/1/RekT_Analyzator_AD_MH_2009.pdf
Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Martin Hájek.
- SENZORTECH, 2008. Jednocestná závora. *Rozdelenie optoelektrických snímačov*. [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z:
www.senzortech.sk/neo/tree.php?stranka=eshop2info#sB1
- SM-LOMOS, ©2014. Bascom. *SM-lomos.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z:
<http://www.sm-lomos.cz/sluzby/bascom/>
- SODOITYOURSELF, 2007. MAX232 Serial Level Converter. *Sodoityyourself.com*. [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://sodoityyourself.com/max232-serial-level-converter/>
- SOKOL, Zdeněk, ©2014. Stejnosměrné stroje. *spse.dobruska.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: www.spse.dobruska.cz/download/sokol/ss.pdf
- SOPO, 2008. Rotory. *Sopo.cz*. [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z:
<http://sopo.cz/cz/fotogalerie/2/>
- ŠOBÁŇ, Zbyněk, 2007. Generování PWM signálu. *Speciální číslicové systémy*. [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z:
http://noel.feld.cvut.cz/vyu/scs/prezentace2007/ATmega_PWM_Zbynek_Soban/
- STMICROELECTRONICS, 2000. Dual full-bridge driver: L298. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf
- STŘÍTESKÝ, Luboš, nedatováno. DC/DC měniče s MC34063. *Amarokcz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://amarokcz.wz.cz/MC34063.htm>
- ŠVIDRNOCH, Roman, 2008. Jak mýt správně auto. *AUTO.iDNES.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/jak-myt-spravne-auto-0lv-/automoto.aspx?c=A080325_120127_automoto_fdv
- TIŠNOVSKÝ, Pavel, 2009. Komunikace po sériové sběrnici I2C. *root.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. ISSN 1212-8309. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbornici-isup2supc/>
- TOMAN, Karel, 2007. Decentralizované sběrnicové systémy. *TZB-info*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4213-decentralizovane-sbernicove-systemy>
- VÁŇA, Vladimír, 2004. *Mikrokontroléry Atmel AVR: programování v jazyce Bascom*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-115-2.

- VRÁNA, V., KOČMAN, S., KOLÁŘ, V., 2006. Stejnoseměrné stroje. *Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_stejnosmerne_stroje_bc.pdf
- WASHTEC, ©2012a. Mycí linky portálové. *WashTec Cz.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.washtec.cz/produkty/myci-linky-portalove.html>
- WASHTEC, ©2012b. Mycí linky tunelové. *WashTec Cz.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.washtec.cz/produkty/myci-linky-tunelove.html>
- WASHTEC, ©2012c. Ruční mytí. *WashTec Cz.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.washtec.cz/produkty/rucni-myti.html>
- WASHTEC, ©2012d. Generace MaxiWash - mycí linky pro nákladní a užitková vozidla. *WashTec Cz.* [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.washtec.cz/produkty/myci-linky-pro-nakladni-a-uzitkova-vozidla/generace-maxiwash-myci-linka-pro-nakladni-a-uzitkova-vozidla.html>
- WAYOUTWESTAUSTIN, 2010. Best Car Wash Out West. *Wayoutwestaustin.com*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://wayoutwestaustin.com/best-car-wash-out-west/>
- WIKIKNIHY, 2013. Praktická elektronika/Operační zesilovače. *Wikiknihy*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://cs.wikibooks.org/wiki/Praktická_elektronika/Operační_zesilovače
- WIKIPEDIA, 2013a. Zapojení s operačním zesilovačem. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001-2014 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Zapojení_s_operacním_zesilovačem
- WIKIPEDIA, 2013b. Vzorkování. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001-2014 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vzorkování>
- WIKIPEDIA, 2013c. NE555. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001-2014 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/NE555>
- WIKIPEDIA, 2014a. Operační zesilovač. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001-2014 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Operační_zesilovač
- WIKIPEDIA, 2014b. Zásobník (datová struktura). *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001-2014 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Zásobník_\(datová_struktura\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Zásobník_(datová_struktura))
- WIKIPEDIA, 2014c. A/D převodník. *Wikipedia: the free encyclopedia*. [online]. 2001-2014 [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/?title=A/D_převodník
- X-STREAM WASH SYSTEM, ©2014. X-Stream Wash Systems. *X-Stream Wash Systems*. [online]. 2014 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.x-streamtouchlesswash.com/>

- ZDENALOS, 2004. Operační zesilovač. *maturitanaznamku.kvalitne.cz*. [online]. [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://maturitanaznamku.kvalitne.cz/pdf/ELN3.pdf>
- ZIMA, Michal, 2006. Komunikace po RS232. *programujte.com*. [online]. 9. 11. 2006 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2006110301-komunikace-po-rs232/>