VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

MANIPULÁTOR PRO TŘÍDĚNÍ KULIČEK ŘÍZENÝ PLC

BALL SORTING MANIPULATOR DIRVEN BY PLC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE **PETR MAREČEK**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE **ING. LUKÁŠ KNISPEL**
SUPERVISOR

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky
Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Mareček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Manipulátor pro třídění kuliček řízený PLC

v anglickém jazyce:

Ball Sorting Manipulator Driven by PLC

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Daná BP se bude zabývat návrhem a tvorbou modelu manipulátoru pro třídění kuliček. Manipulátor i přídavná senzorika budou ovládány programovatelným automatem B&R Automation. Práce bude zahrnuta jako součást řešení projektu FSI-J-11-52 a FSI-J-11-31.

Cíle bakalářské práce:

3D model zařízení - návrh manipulátoru v prostředí Autodesk Inventor.
Vlastní fyzický model manipulátoru zhotovený na Al krabičče 220x160x50, včetně funkční elektroinstalace se vstupy/výstupy vyvedenými na svorkovnici.
Program ovládání manipulátoru pro PLC B&R Automation (ANSI C / Structured Text).
Přehledná dokumentace, počítá se s nasazením ve výuce.

Seznam odborné literatury:

"Bernecker & Rainer." Perfection in Automation. http://www.br-automation.com/ (accessed December 2, 2013).
Cubero, Sam. Industrial robotics : theory, modelling and control. Mammendorf: Pro-Literatur-Verl, 2007.
Sciavicco, L, and Bruno Siciliano. Modelling and control of robot manipulators. London New York: Springer, 2000. Print.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lukáš Knispel

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 3.3.2014

L.S.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
DĚKANÁT

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá využitím PLC (Programmable Logic Controller) pro třídění barevných kuliček za použití snímače barev. Teoretická část popisuje princip činnosti prvků třídiče kuliček a presentuje typy programovacích jazyků. Praktická část popisuje konstrukci mechanismu vytvořenou v programu Autodesk Inventor a řešení elektronických prvků, obvodu. Na závěr seznamuje čtenáře se základy programování v jazyce ANSI C a programem Bernecker&Rainer Automation Studio.

ABSTRACT

This thesis deals with using PLC (Programmable Logic Controler) for sorting colored balls using the color sensor. Theoretical part also describes principle of operation elements ball-sorting manipulator and presents the types of programming languages. Practical part describes the construction of the mechanism created in software Autodesk Inventor and solution of the electronic compoments, circuits. Finally, introduces the reader programming in ANSI C and the software Bernecker&Rainer Automation Studio.

KLÍČOVÁ SLOVA

PLC, senzor barvy, servomotor, optozávora, Automation Studio, stavový diagram.

KEYWORDS

PLC, color sensor, servomotor, oposed-mode sensor, Automation Studio, flow chart.

PROHLÁŠENÍ O ORIGINALITĚ

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní, citace použitých zdrojů je úplná a že jsem ve své práci neporušil autorská práva.

V Brně dne 29. května 2014 ….....

Petr Mareček

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MAREČEK, P. *Manipulátor pro třídění kuliček řízený PLC.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Knispel.

PODĚKOVÁNÍ

Chci poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Lukáši Knispelovi, za poskytnutí cenných rad, času, pozitivního myšlení, kolektivu v laboratoři ústavu za poskytnutí technické podpory a zkušeností při programování, zvláště Ing. Danielu Zuthovi, PhD. za pomoc při realizaci. Děkuji také svým rodičům a přítelkyni za podporu, bez které by tato práce nevznikla.

Obsah:

Zadání závěrečné práce **3**
Abstrakt **5**
Prohlášení o originalitě **7**
Bibliografická citace **9**
Poděkování **11**
1 Úvod **15**
2 PROGRAMOVATELNÝ AUTOMAT **17**
2.1 Stavba a terminologie PLC 17
2.1.1 Centrální programovací jednotka 18
2.1.2 Vstupní modul 19
2.1.3 Výstupní modul 19
2.1.4 Paměť 20
2.1.5 Testování 20
2.2 Programovací metody 20
3 PROGRAMOVACÍ JAZYKY **23**
3.1.1 Seznam instrukcí 23
3.1.2 Příčkový diagram 23
3.1.3 Funkční blokové schéma 24
3.1.4 Sekvenční funkční diagram 24
3.1.5 Strukturovaný text 25
3.1.6 Ansi C 25
4 TECHNICKÉ PROVEDENÍ PLC **27**
4.1 Kompaktní 27
4.2 Modulární 27
4.3 Rack mounting 28
5 VSTUPNÍ SENZORY **29**
5.1 Optozávora 30
5.2 Senzor barvy a zesilovač 30
6 SERVO MOTOR **33**
6.1 Popis mechanismu 33
6.2 Parametry 34
7 REALIZACE MECHANIZMU **35**
7.1 Mechanická část 35
7.2 Elektronická část 37
7.2.1 Schéma zapojení 38
7.2.2 Konstrukční realizace 39
8 PROGRAMOVÁNÍ **41**
8.1 Použitý typ 41
8.2 Automation studio 4.0 42
8.3 Cyklické třídy 43
8.4 Stavový diagram 44
9 ZÁVĚR **45**
Seznam použité literatury **47**
Obsah cd **49**
Seznam výkresové dokumentace **51**

1 ÚVOD

Programovatelný automat (PLC) má svůj původ ve strojírenském průmyslu. Výrobní procesy byly částečně automatizované pomocí pevných hydraulických, pneumatických nebo elektrických ovládacích obvodů. S postupem času se však vyskytl problém. Provádět změny u takto pevných řídících obvodů je časově náročné a tudíž i drahé. Rychle rostoucí rozvoj mikro počítače ukázal, že může měnit hodnoty na výstupu (vypnuto/zapnuto) podle hodnot na vstupu. Tedy při provádění změn ve výrobě stačilo jen přeprogramovat počítač.

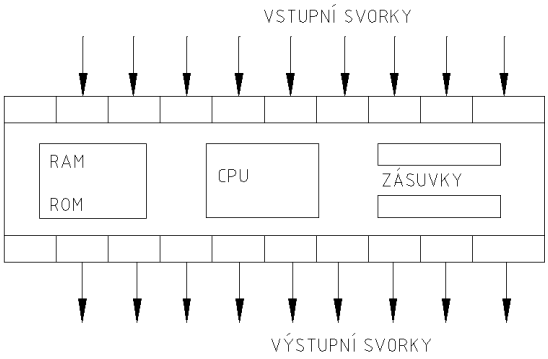
Tato práce slouží jako názorná ukázka použití programovatelných automatů v praxi. V úvodu je zde uveden popis a rozdělení programovatelných automatů. Jak tyto automaty pracují, jejich hlavní části. Je zde zmíněn zvolený PLC systém X20 od firmy B&R. Dále pak je popsáno několik dalších elektronických součástí. Jako například optická závora od firmy Banner, snímač barvy firmy MAZeT a k pohybu sloužící servomotor. Praktická část dokumentu se věnuje realizaci třídiče kuliček. První část mechanické konstrukci, druhá část elektronice a ve třetí jsou obsaženy informace k programování. V závěru je zhodnocení celku z pohledu konstrukce, elektroniky a programování.

2 PROGRAMOVATELNÝ AUTOMAT

Programovatelný automat je uživatelsky programovatelný řídící systém přizpůsobený pro řízení průmyslových a technologických procesů, mnohdy specializovaný na úlohy převážně logického typu (obzvláště u starších typů nebo u nejmenších systémů). Nejčastěji se označují zkratkou PLC (*Programmable Logic Controller*), v německé literatuře se lze setkat s označením SPS (*Speicherprogrameirbare Steuerung*). [1]

2.1 Stavba a terminologie PLC

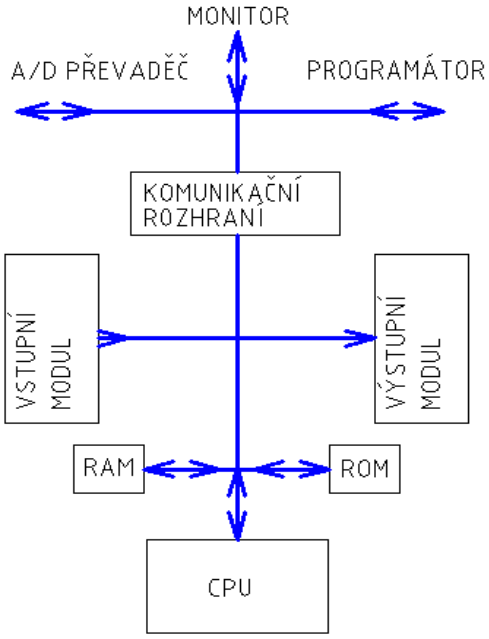
PLC pro změnu stavu mezi vypnuto/zapnuto používá své výstupy. Rozhodnutí aktivovat výstup je založen na systému senzorů zpětné vazby (*Feed-Back*). Tato zpětná vazba je posílána na vstupní svorky programovatelného automatu. Rozhodnutí automatu je naprogramováno v logických programech a uloženo v paměti RAM (*Random Acces Memory*) anebo paměti ROM (*Read Only Memomry*). Dále obsahují centrální procesorovou jednotu (CPU), datovou sběrnici a adresovou sběrnici. Schéma PLC je zobrazeno níže (Obr. 1) a obrázek moderního programovatelného automatu (Obr. 2).



Obr. 1 Schéma PLC

Obr. 2 Moderní PLC [2]

Další schéma (Obr. 3) ukazuje velmi zjednodušený diagram struktury automatu. Centrální procesorová jednotka ovládá vše podle programu uloženého v paměti (RAM anebo ROM). Vše je propojeno pomocí dvou sběrnic a to adresovou a datovou sběrnicí (ve schématu vyznačeno modrými šipkami). Systém musí být přizpůsoben ke komunikace s externími zařízeními jako například s programy, LCD monitory a s Analogovými/Digitálními převaděči.



Obr. 3 Schéma struktury automatu

2.1.1 Centrální programovací jednotka

Obvykle se skládá z aritmetickologické jednotky (*Aritmetic Logic Unit*). Existují případy s externí, oddělenou jednotkou. Tato část provádí operace sčítání, odčítání, násobení, dělení a porovnávání. Vyrovnávací paměti (*Buffer's*) slouží jako regulátory, které vyrovnávají rozdíl mezi rychlostmi přijatých a zpracovávaných dat. Dále jsou zde záklapky (A, B, C), které předávají data z jedné strany na druhou, jakmile dostanou pokyn.

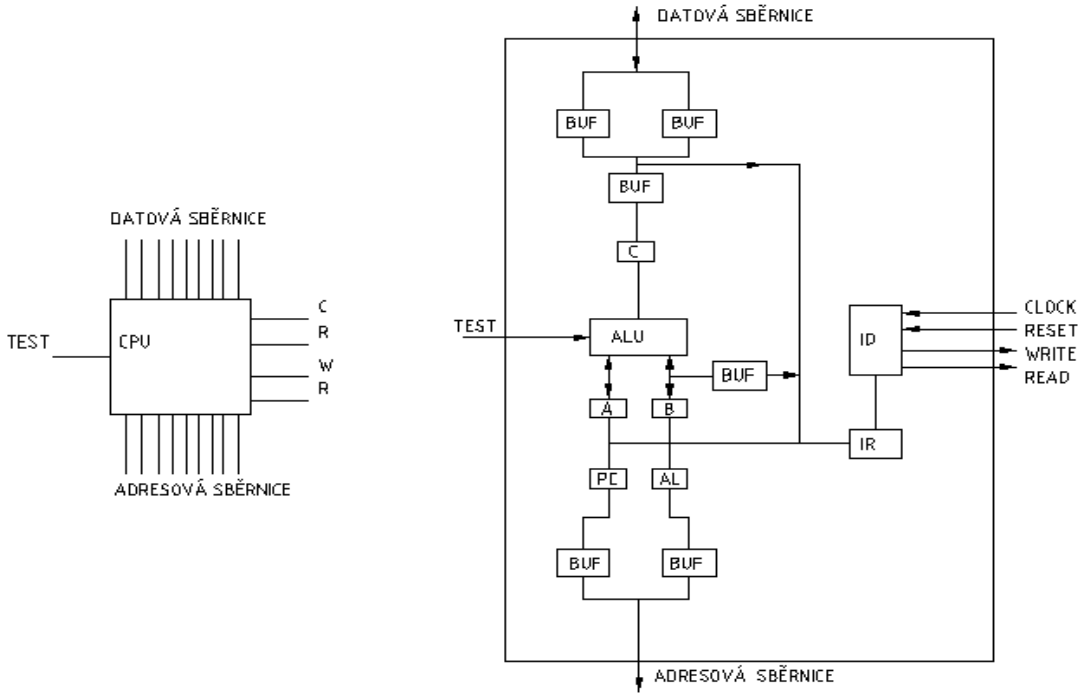
Digitální data prochází sběrnicemi. Sběrnice původně měla čtyři paralelní linky. S vývojem technologie se však počet postupně navýšil z osmi, šestnácti na dvaatřicet linek. Sběrnice jsou připojeny do paměťových čipů. V paměťovém čipu (na Obr. 4 označení PC, AL) jsou digitální čísla ukládána v lokacích. Číslo jsou data a lokace je adresa. Data mohou být zaslána nebo přinesena z paměťových lokací písemně nebo čtením. Signálové linky označené *„Read“* a *„Write“* ve schématu (Obr. 4) umožňují CPU číst a psát.

Instrukční registr (*Instruction Register*) je dočasné paměťové místo, kde jsou dávána data pro manipulaci. Poté jsou předána ven.

Linka označená jako *„Clock“* pulsuje v pravidelným tempem pro synchronizaci operací. V současné době se pohybuje počet impulsů v GHz.

Při aktivování linky „Reset“ dojde k vynulování programového čítače na nulu.

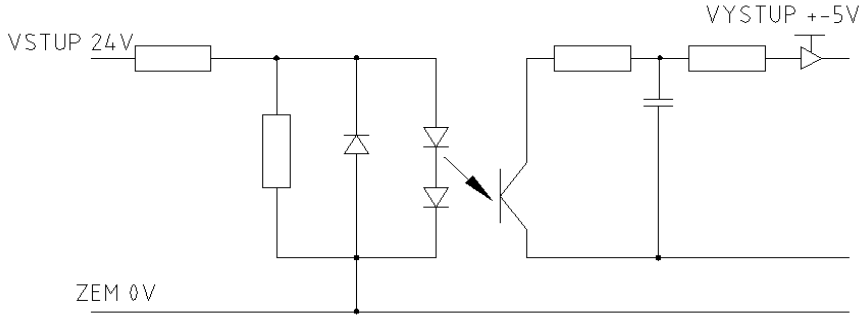
Operace jsou prováděny v souboru instrukcí (program) a tyto instrukce jsou dešifrovány v dekodéru instrukcí (*Instuction Decoder*).



Obr. 4 Schéma centrální programovací jednotky

2.1.2 Vstupní modul

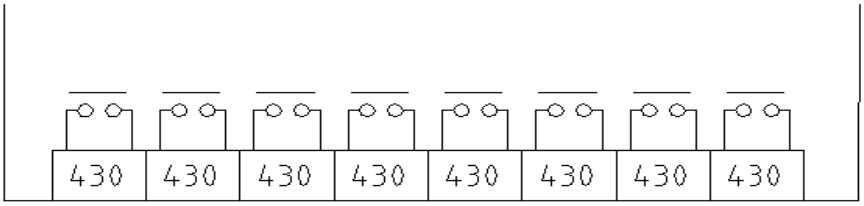
Vstupní modul propojuje vstupní sběrnice se zbytkem systému. Každá svorka je obvykle elektricky izolována od interní elektroniky pomocí optických izolátorů, například galvanickým optočlenem. Je to jedno z řešení,jak předávat status vstupu (zapnuto/vypnuto) použitím světlo vyzařujících diod (LED) a fototranzistoru. Obr. 5 ukazuje typickou podobu modulu. Jeho výhodou je eliminování rušivých účinků impulsů generovaných od elektromagnetických zdrojů. Slouží také jako bezpečnostní zařízení. Zabraňuje vstupu živého napětí na vstupních linkách v případě poruchy.



Obr. 5 Schéma vstupního modulu

2.1.3 Výstupní modul

Vstupní modul obsahuje spínače, aktivovatelné pomocí CPU. Účel spínačů je propojit dvě svorky pro průchod proudu externím obvodem. Aktivace se uskutečňuje například pneumatickými elektromagnetickými ventily, motory, topnými tělesy apod. Musí se zajistit, aby nedošlo k přetížení kontaktů. Jako přepínač se používá tranzistor nebo relé. Svorky jsou číslované, jak je patrné na zobrazeném uspořádání (Obr. 6). Jejich čísla jsou pak používány k programování.



Obr. 6 Uspořádání svorek

2.1.4 Paměť

PLC má RAM a ROM. Napsaný a odeslaný program je ukládán do paměti RAM. ROM obsahuje trvalé programy, které slouží k monitorování vstupů, výstupů a probíhajících diagnostických testů.

2.1.5 Testování

Programovatelný automat obsahuje určité monitorovací, testovací a diagnostické zařízení v rámci programu. LED informují o stavu vstupů a výstupů. Je možnost na vstup sadu přepínačů a tím testovat program nastavením přepínačů na určitý stav. Poté se sleduje, jestli je přijat požadovaný výstup akce. Nejpokročilejší metodou propojení PLC s počítačem je pomocí odpovídajícího softwaru a kompletní simulací systému ukazující odpovídající status automatu.

2.2 Programovací metody

Programování je tvořeno pomocí logických příkazů. To může být prováděno pomocí programovacího panelu nebo přes připojený počítač. Existuje několik různých typů programovacích panelů:

- jednoduché například jen s klávesou
- plnohodnotné ruční počítače s displejem.

Výhodou počítačů je, že dokáží spustit software s grafickým zobrazením, simulací, diagnostikou a monitorováním. Toto je prováděno laptopem na místě, nebo vzdáleně připojeným počítačem. Často je program vyvíjen a testován na počítači a poté je přenesen do PLC pomocí datového kabelu, harddisků nebo flash pamětí. Obr. 7. ukazuje nabídku ovládacích panelů od firmy B&R.

Obr. 7 Ovládací panely firmy B&R [2]

3 PROGRAMOVACÍ JAZYKY

Programovat PLC lze mnoha různými způsoby. Každý je pak vhodnější pro jiný druh aplikace. Základní programovací režimy standardizuje norma IEC 61131-3. [3]

Pod označením standartu IEC 61131-3 se skrývá definice programovacích režimů (jazyků) pro programovatelné automaty (PLC). Tento soubor je v praxi spíše známý pod označením „*CoDeSys*“, což je zkratka pro *Controlled Development System*. To je univerzální vývojové prostředí pro aplikační programy řídících systémů PLC vytvořené společností *3S-Smart Software Solutions GmbH* právě podle standartu IEC 61131-3, bez ohledu na použitý hardware. Díky němu je tak možno vytvářet jednotné datové a programové struktury a způsoby ovládání nezávisle na výrobci a typu PLC, protože „napasovaní“ na daný hardware probíhá až poté při překladu. [3]

3.1.1 Seznam instrukcí

IL (*Instruction List*) patří do skupiny textových jazyků. Bývá také označován jako jazyk pokynů (povelů), seznam instrukcí poněkud připomíná assembler. Programová organizační jednotka je složena ze sekvence instrukcí, z nichž každá začíná na novém řádku, může obsahovat také komentář. Pomocí modifikátorů se vyjadřují negace, podmíněnost a nepodmíněnost, instrukce skoků, volání a návratů a priorita. [4]

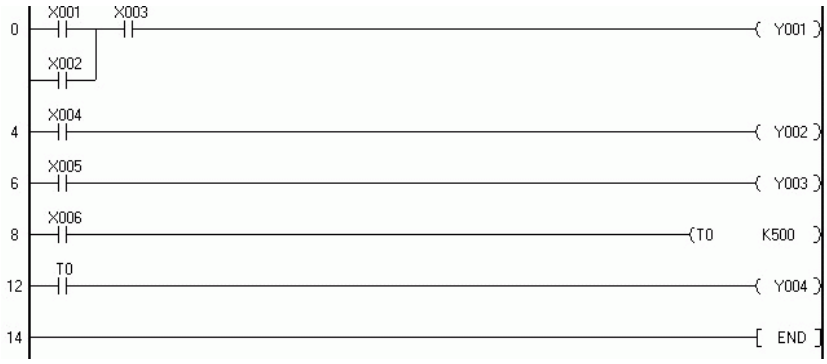
```
0 LD X0
1 OUT C0
        K5
3 LD C0
4 OUT Y0
5 LD X1
6 RST C0
7 END
```

Obr. 8 Ukázka programu pro PLC Mitsubishi [4]

3.1.2 Příčkový diagram

V anglicky psaných literaturách se setkáváme s pojmem „*Ladder Diagram*“ (LD). V překladu liniové nebo reléové schéma.

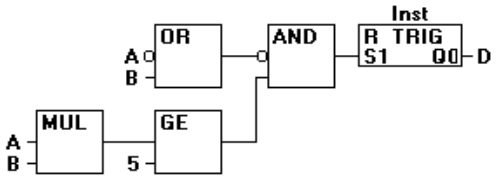
Historicky LD zápis programu vyhází z dob reléové logiky, kdy místo procesorů či mikrokontrolérů nebo integrovaných logických obvodů typu *NAND, NOR* či *XOR*, se využívala soustava vzájemně propojených relátek. Právě pomocí reléových schémat se snadno tyto logické soustavy zapisovaly. Svojí strukturou je pak prakticky ideální pro rychlé a přehledné zpracování velkého množství logických (spínání vstupů a výstupů) a jejich čítání a časování. Též je vhodný pro jednoduché vyhodnocení hodnot analogových signálů. [3]



Obr. 9 Ukázka programu v jazyce LD pro PLC Mitsubishi [4]

3.1.3 Funkční blokové schéma

Druhým grafickým jazykem je FBD (*Function Block Diagram*), který vyjadřuje chování funkcí, funkčních bloků a programů jako soubor vzájemně provázaných bloků podobně jako v elektrotechnických obvodových diagramech. Používají se zde standardní funkční funkční bloky pro vyjádření logických funkcí a také čítače, časovače, komunikační bloky a podle potřeby i speciální bloky. Každý výrobce nabízí ve svém programovacím prostředí poněkud odlišný soubor bloků. [4]

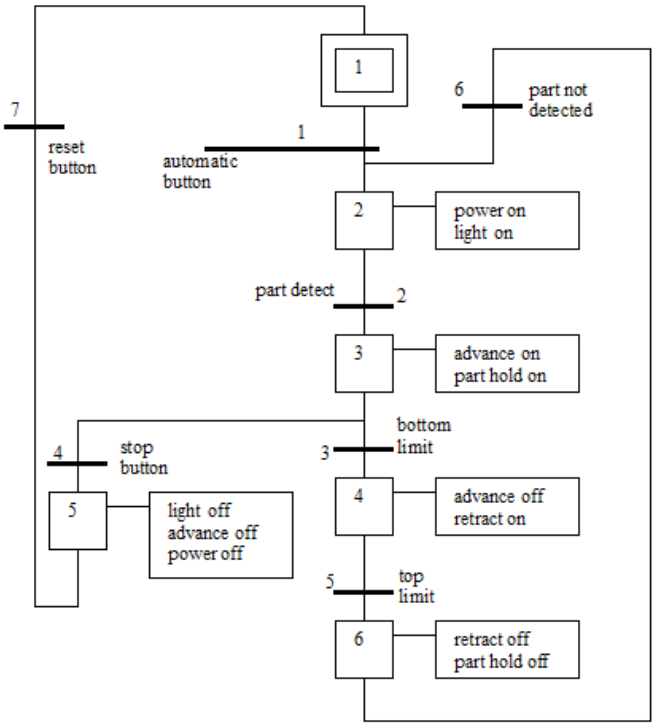


Obr. 10 Function Block Diagram [3]

3.1.4 Sekvenční funkční diagram

Programovací režim SFC (*Sequential Function Chart*) je graficky orientovaný zápis pro snadné definování chování programu, tedy jeho běh a reakce na různé rozhodovací situace. Prakticky umožňuje definovat chování programu prostřednictvím všeobecného známého vývojového schéma, tedy větvení programu na základě splnění rozhodovacích podmínek. [3]

Sekvenční funkční diagram se skládá z kroků a přechodů. Každý krok reprezentuje stav řízeného systému a má k sobě přiřazen blok akcí. Přechod je spojen s podmínkami, které musí být splněny, aby mohl být deaktivován krok, který přechodu předchází, a naopak aktivován krok, který následuje. Každý prvek, tzn. přechod i blok akcí, může být naprogramován v libovolném jazyku definovaném v normě, včetně vlastního SFC. Jazyk umožňuje i větvení programu se spojením alternativních větví a paralelní souběh více větví s jejich následnou synchronizací. [4]



Obr. 11 Sekvenční funkční diagram [4]

3.1.5 Strukturovaný text

Programovací režim ST (*Structured Text)* je ideální pro klasické programátory mikroprocesorů, protože jeho zápis je tvořený posloupností symbolických instrukcí, kde jedna instrukce reprezentuje v „IL“ zápisu celou posloupnost základních instrukcí. Jde tedy o programovací jazyk vyšší úrovně, podobně jako například Pascal či C. Svojí strukturou (syntaxí) se také Pascalu velice podobá.

Výhodou je snadné a rychlé naprogramování i složitých aritmetických vzorců a relativně snadná manipulace a práce s bloky dat a databázemi (snadná realizace vícenásobných podmínkových smyček s indexací paměťových míst). Nevýhodou je horší přehlednost logických operací a „toku“ signálu strukturou programu. Také je nutné znát příkazy a syntaxi zápisu. [4]

```
PROGRAM main
VAR
        i: INT;
END_VAR
i:=0;
REPEAT
        i:= i+1;
        UNTIL i>=10;
END_REPEAT;
END_PROGRAM
```

Obr. 12 Strukturovaný text

3.1.6 Ansi C

ANSI (*American National Standart Institute*) norma jazyka C definuje moderní vyšší programovací jazyk všeobecného použití. ANSI jazyk C je bezpečnější, a navíc často umožňuje (byť jako archaismy) převzetí zdrojových textů vytvořených ve stylu K&R. Překladače, díky normalizaci jazyka, nabízí řada nezávislých producentů programového vybavení. Podstatné je, že C nabízí prakticky na všech technických platformách. Budeme-li ANSI normu C dodržovat, máme velkou šanci, že budeme schopni přenést zdrojový text na jiný stroj (s jiným procesorem i OS), program přeložit, spojit s knihovnami a spustit. [13]

```
1  /*********************************************************************
2   * COPYRIGHT --
3   *********************************************************************
4   * Program: NewProgram
5   * File: NewProgramCyclic.c
6   * Author: Student
7   * Created: May 06, 2014
8   *********************************************************************
9   * Implementation of program NewProgram
10  *********************************************************************/
11
12 #include <bur/plctypes.h>
13
14 #ifdef _DEFAULT_INCLUDES
15     #include <AsDefault.h>
16 #endif
17
18 void _CYCLIC NewProgramCyclic(void)
19 {
20     /* TODO: Add code here */
21 }
```

Obr. 13 Cyklická metoda jazyka C v Aautomation Studiu [2]

4 TECHNICKÉ PROVEDENÍ PLC

Existuje mnoho druhů automatů, od základních řad až po velice specializované výkonné jednotky. Vždy však záleží na náročnosti operace či aplikace, pro kterou chceme dané PLC použít. Od regulace hladiny kapaliny v nádrži, přes řízení servomotorů až po vyspělé obráběcí stroje.

Existují základní dva typy provedení a to kompaktní a modulární. Dále se vyskytuje varianta „*Rack-Mounting*“.

4.1 Kompaktní

Toto provedení obsahuje všechny funkce základního systému v jediném boxu. Jsou montovány přímo do řízeného stroje. Velmi časté technické oblasti použití jsou například klimatizační jednotky, technické zařízení budov, prodejní automaty, balící stoje apod.

Obr. 14 Kompaktní procesorová jednotka [2]

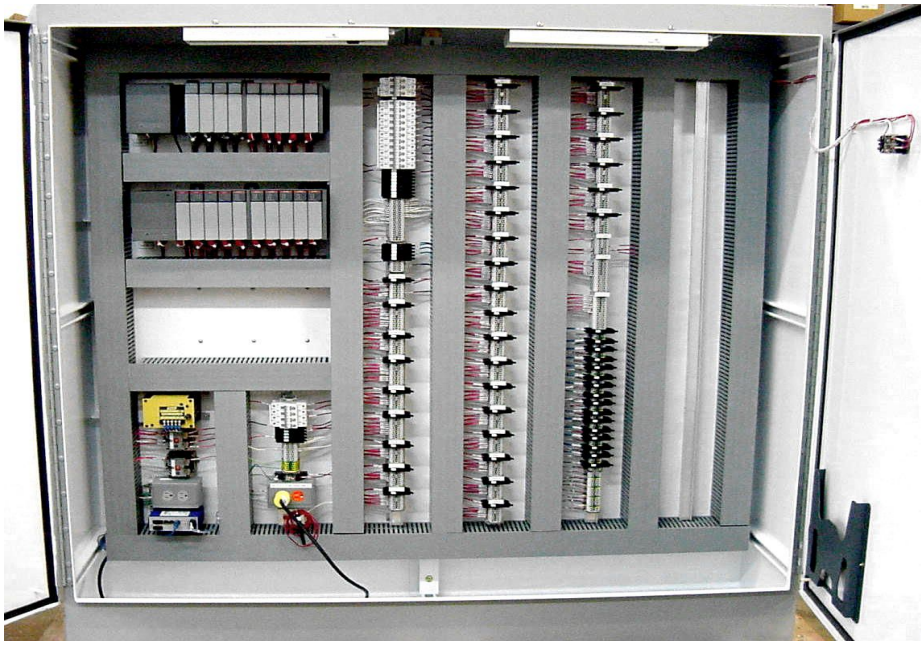
4.2 Modulární

Používá se rozsah modulů, které společně tvoří systém. Mezi základní moduly patří napájecí modul a hlavní modul obsahující CPU, vstupní modul a výstupní modul. Další moduly, například převádějící proud ze střídavého na stejnosměrný jsou dávány podle potřeby. Hlavní výhodou je variabilní počet vstupních a výstupních svorek. Je možné je libovolně rozšiřovat podle potřeby. Modulární systém je montován přímo na zařízení. Obvykle je nasazen na nosiči či kolejnici, přišroubované na skříni stroje.

Obr. 15 Modulární procesorová jednotka od firmy Eaton [5]

4.3 Rack mounting

Tento typ je podobný modulárnímu provedení, realizován je však jinak. Zatímco modulární PLC se montují přímo na rám konstrukce zařízení, „*Rack-Mounting*“ systém udržuje každý modul odděleně. Všechny další moduly jsou propojeny prostřednictvím sítě. Vše je přehledně organizováno ve stojanech, regálech. Metoda umožňuje vytvořit větší systémy při zachování přehlednosti a uspořádání jednotlivých modulů. Ty mohou být dodány, odstraněny nebo vyměněny podle potřeby.

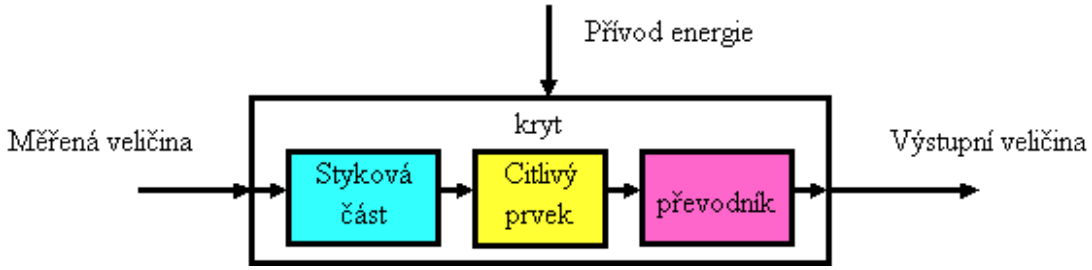


Obr. 16 Provedení Rack mounting [15]

5 VSTUPNÍ SENZORY

Snímač je nepostradatelnou vstupní částí měřící aparatury. Na citlivý prvek snímače působí měřená (vyšetřovaná) veličina, jeho vlastnosti jsou tedy závislé na druhu měřené veličiny. Snímač převádí veličinu měřenou na výstupní (snímanou) veličinu, která je dále zpracovávána ostatními prvky měřícího řetězce. Kvalita signálu na konci řetězce je podmíněná kvalitou výstupního signálu snímače. Snímač je důležitou částí měřícího kanálu, obvykle omezující z hlediska přesnosti, ceny, spolehlivosti a výrobní náročnosti. [7]

Senzor obsahuje tři základní prvky. Jako první je styková část, která předává měřenou veličinu na citlivý prvek. Toto předávání je buď dotykové anebo bezdotykové. Dalším článkem snímače je citlivá část neboli čidlo. Má za úkol měnit měřenou veličinu tak, aby mohla být zpracovatelná pro převodník. Například je to membrána snímače tlaku. Signál z citlivého prvku je měněn převodníkem na lépe zpracovatelnější signál (například elektrický) pro následující použití. Tyto členy jsou pak uloženy v krytu. Ten poskytuje ochranu před vnějšími vlivy, jako jsou mechanické působení, vlhkost, prašnost. Také ale i možnost uchycení, instalace na rámy, konstrukce podle potřeby.



Obr. 17 Schéma snímače [7]

Podle druhů snímačů se liší i jejich vnitřní uspořádání. Například u kapacitního snímače polohy je dána dohromady citlivá část s převodníkem a u piezoelektrických snímačů se nevyskytuje přívod energie. Podle kritérií se dělí na:

- **Dle měřené veličiny:** teplota, tlak, průtok, mechanické veličiny, elektrické a magnetické veličiny.
- **Dle fyzikálního principu:** odporové, indukční, kapacitní, magnetické, piezoelektrické, optické, optické vláknové.
- **Dle styku senzoru s měřeným prostředím:** dotykové, bezdotykové.
- **Dle typu transformace signálu:** aktivní, pasivní.

Aktivní snímač přijímá podíl energie z měřeného objektu, který přemění na vhodnou výstupní elektrickou veličinu. Tyto snímače pracují na piezoelektrickém, elektrodynamickém, magnetostrikčním principu apod. Pasivní senzor mění jeden ze svých parametrů působením neelektrické veličiny na snímač. Je napájen zdrojem elektrické energie. Patři zde odporové, indukčnostní, kapacitní snímače apod. [7]

5.1 Optozávora

Použitá opotzávora pracuje na principu protilehlého režimu snímání (*Opposed Mode Sensing*). V tomto případě jsou emitor a přijímač senzoru umístěni ve dvou samostatných jednotkách. Vysílač je umístěn tak, aby paprsek z něj vycházející měl směr přímo k přijímači. Následně je objekt detekován, když se přeruší světelný paprsek. Výhodou tohoto paprsku je, že jeho množství dopadající na přijímač, je nad rámec minimálního množství pro práci zesilovače senzoru. Tedy velice efektivní a je ideální pro provoz v oblastech s vysokým optickým útlumem (prašné prostředí). Tato vlastnost dále poskytuje možnost použít tento snímač i v metrových vzdálenostech.

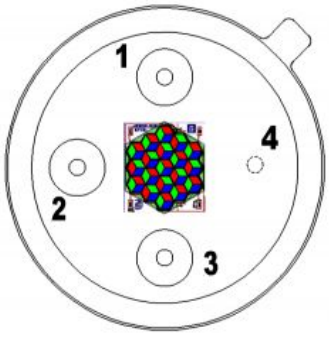
Pro naši aplikaci se uvažoval tento prvek jako bezpečnostní, pro v praxi se však používají speciální (*Safety*) PLC v kombinaci s různými čidly. V případě protnutí paprsku, například rukou obsluhy, se přeruší paprsek. Tato změna se pošle do PLC, program vyhodnotí změnu a třídič se zastaví na určitý čas, nebo dokud paprsek nebude opět dopadat na přijímač senzoru.

Obr. 18 Optozávora od firmy Banner série VS2 [9]

Pro realizace byl použit senzor od firmy *Banner* ze série *VS2* typ *KRP5V*. Je možné jej napájet 10 až 30 Volty. Perioda paprsku je 100 mikrosekund. Obsahuje dvě led diody pro uvádění pracovních stavů. Maximální vzdálenost snímačů od sebe je 1,2 m. [9]

5.2 Senzor barvy a zesilovač

Senzor se skládá z devatenácti trojic foto diod, vyrobené speciální PIN silikonovou technologií s rozšířenou citlivostí, osazených na čipu. Diody jsou na čipu osazeny do mnohoprvkové hexagonální maticové struktury s průměrem 2 mm. [10]

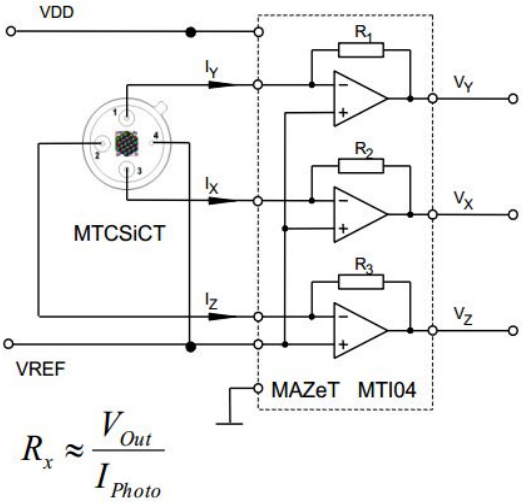


PIN	description
1	Y (green)
2	Z (blue)
3	X (red)
4	common cathode

Obr. 19 PIN konfigurace senzoru (pohled shora) [10]

Design těchto „*Si-PIN*“ foto diod umožňuje signálu dosáhnout hodnot frekvence v MHz. Aby se předešlo k jejich vzájemnému rušení, tak byly jednotlivé sektory odděleny od sebe další strukturou. Každá z nich obsahuje dielektrický spektrální filtr, který zpřesní citlivost pro dané barevné rozhraní.

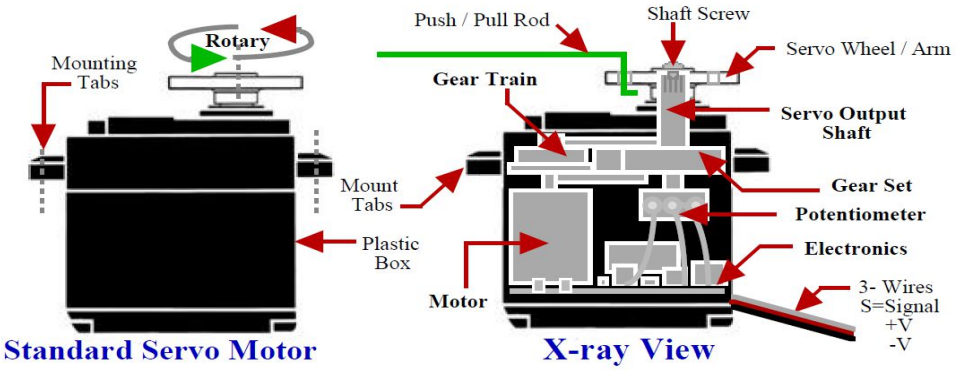
Používá se pro měření barvy, kontrolu a regulaci, i jako přenosná čtečka barev pro spotřební a průmyslové aplikace. Například jako čidlo pro zobrazení nastavení barev nebo citlivý senzor pro reprodukci a systémovou kalibraci. Program v PLC bude vyhodnocovat barvy podle napětí. Proto je senzor napájen na plošný spoj spolu se zesilovačem a vhodnými odpory dle schématu (Obr. 20). Tento obvod pak převádí proud na napětí.



Obr. 20 Schéma zapojení snímače barev [10]

6 SERVO MOTOR

Servo motor je mechanické zařízení vybaveno elektromotorem. Jeho hlavním úkolem je otáčet výstupní hřídelí, ke které je obvykle připevněna redukce, kolečko či jiný díl podle potřeby. Pod krytem serva se nachází stejnosměrný motor mechanicky propojen s pozicí zpětnovazebního potenciometru, převodovky, elektronickým obvodem ovládání zpětné vazby a pohonem elektrického obvodu.



Obr. 21 Schéma servo motoru [6]

V praxi se vyskytuje mnoho podob technických provedení. Mini serva, v rozměrech několika jednotek milimetrů, obsahují z velké části plastové komponenty (ložiska, ozubené převody). Jejich využití lze nalézt u modelů. V průmyslu se však používají servo motory pro použití v servo pohonech. Zde už musí splňovat vyšší kritéria na výkon, výdrž a trvanlivost. Od těchto požadavků se pak odvíjí konstrukce celého mechanismu, který je tvořen z různých druhů ocelí či slitin hliníku. V této práci jsou použity motory z oblasti mini serv.

Dle typu řídící elektrotechniky se dělí na analogové a digitální. U analogového se vyskytuje řídící elektrický obvod, který dle šířky signálu a polohy potenciometru roztáčí stejnosměrný motor. Digitální obsahují procesor. Ten se dá lépe přizpůsobit k aktuálním podmínkám provozu.

6.1 Popis mechanismu

V případě modelářského mikroserva je hlavní částí plastové tělo s rotující hřídelí ve vrchní části a se třemi vystupujícími kabely zakončenými konektorem. Trojici vystupujících kabelů tvoří V- (uzemnění), V+ (plus napětí) a S (řízení, signál). Kabel S přijímá PWM (*Pusle Width Modulation*) signály posílané z externího řízení (PLC), kde jsou poté přeměny elektronickými součástmi pro operování se servem. Jakmile dostane servomotor příkaz pro pohyb, přijatý PWM signál je převeden na hodnotu odporu a touto hodnotou je poháněn stejnosměrný motor. Díky převodu zároveň rotuje i potenciometr a tím produkuje hodnotu elektrického odporu. Ta je posílána do elektroniky serva až do situace, kdy hodnota odpovídá přepočítanému signálu posílaného z externího řízení. Jakmile si hodnoty odpovídají, servo motor se zastaví a čeká na další signály.

Pulzní šířka signálu je přibližně 1,5 ms a platí pro „neutrální“ polohu serva. Neutrální poloha je definována bodem, odkud je přesně stejná velikost potenciálních otáčení v protisměru a ve směru hodinových ručiček. Pokud pulzní šířka signálu je menší jak 1,5 ms, dojde k pohybu proti směru otáčení hodinových ručiček. Při šířce větší jak 1,5 ms vykoná opačný pohyb. Obvykle se hodnoty šíře pohybují kolem 1,0 ms a maximální kolem 2 ms.

Napětí u těchto menších mechanismů se pohybuje kolem 5 V stejnosměrného proudu, ale často pracují s napětím mezi 4 až 6 V při velikosti proudu 1 A.

6.2 Parametry

Hlavní charakteristické veličiny servomotoru je jeho rychlost a tah. Výrobci dále označují výrobky prodejní značkou, číslem/jménem modelu, tahem výstupu při 4,8 V a při 6,0 V. Dále se označují informace o ocelových, plastových převodech a ložiscích.

Jako příklad je uveden použitý servomotor od firmy *Pelikan Daniel* s označením: „*GO-17MG servo 17g*“ viz Obr. 22 .

Obr. 22 Použitý servomotor s vybavením [8]

V následující tabulce jsou uvedena data podle výrobce.

Velikost serva	Micro
Typ serva	analogové
Tah při 4,8V [kg/cm]	2,2
Tah při 6,0V [kg/cm]	2,5
Rychlost při 4,8V [s/60st.]	0,14
Rychlost při 6,0V [s/60st.]	0,12
Převody serva	kovové
Kuličkové ložiska	žádné
Napájení [V]	4,8-6
Délka [mm]	28,3
Šířka [mm]	13,3
Výška [mm]	29,7
Hmotnost [g]	17

Tab. 1 Přehled dat servomotoru

Rychlost serva je definována jako čas, které urazí rameno z neutrální polohy do 60 stupňů. Rameno lze nalézt v balení viz Obr. 22 . Tabulka obsahuje velikost tahu (kroutícího momentu) při daném napětí. Tato hodnota je přímo úměrná konstrukci mechanismu a uvádí se v kilogramech na centimetr. Měření se provádí tak, že na rameno délky 1cm se postupně zavěšují závaží do té doby než dojde k posunu ramene z horizontálního směru. Měření se provádí pro příslušná napětí.

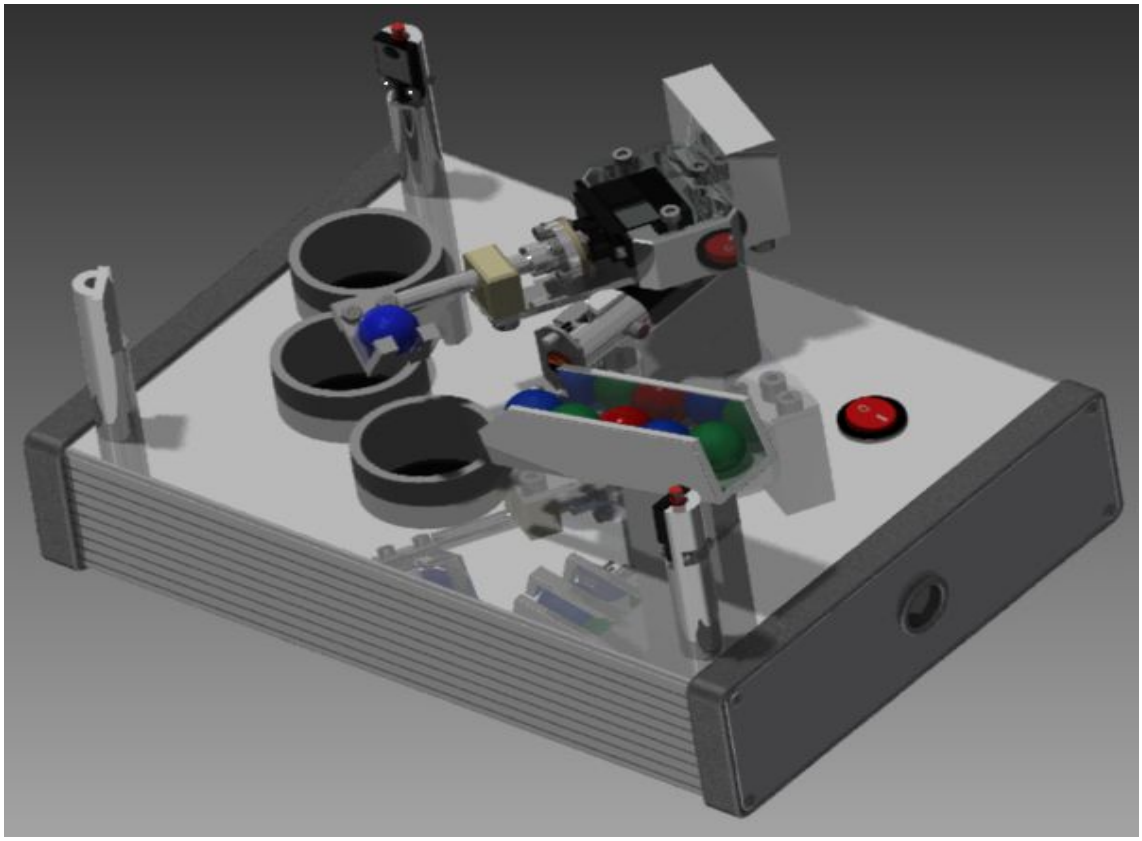
Další hodnotou je napájení. Servo pracuje pod napětím od 4,5 do 6 V stejnosměrného proudu. Při vyšším napětí je rychlejší, někdy silnější. Rychleji se však ohřívá při zastavování, nebo při stání výstupního hřídele pod působící sílou.

7 REALIZACE MECHANIZMU

Celý koncept třídiče kuliček vychází z představy o průmyslovém manipulátoru, který se uzpůsobil laboratorním podmínkám. Od začátku projektování mechanické i elektronické části bylo snahou co nejvíce využít prostor na povrchu i uvnitř základny (na Obr. 23 podstavec ze slitiny hliníku). Celek musí být bezpečný a kompaktní. Proto se kladl důraz na srážení ostrých hran a uschovanou elektroniku uvnitř podstavce.

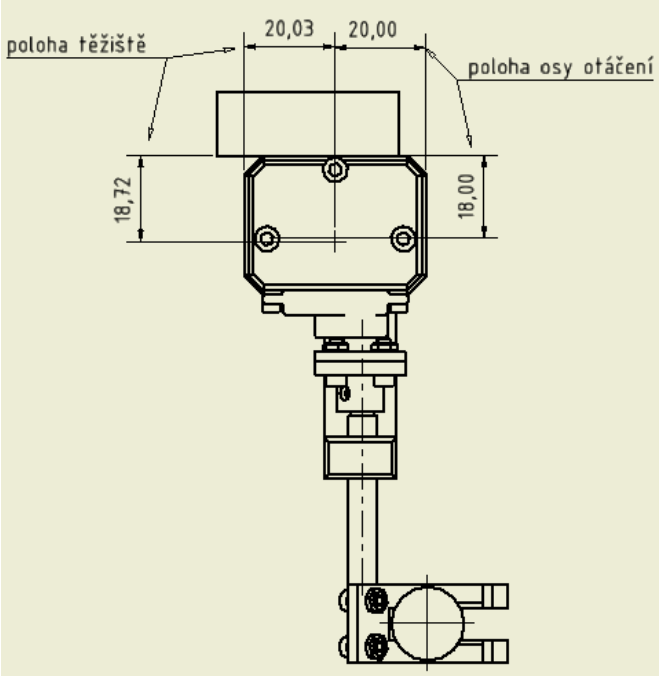
7.1 Mechanická část

Návrh mechanizmu je zhotoven v programu *Inventor 201*3 od firmy *Autodesk* [14]. Základem je tedy plocha podstavce. Pohybové ústrojí tvoří dva analogové servo motory typu: „*GO-17MG servo 17g*“ a „*GO-13MG servo 13g*“. Kde první jmenovaný je popsán v kapitole 3.2. Servo je uloženo v kvádru a pevně přichyceno k hlavní ploše pomocí šroubů. Na něm je uložen druhý kvádr s vybráním, který slouží jako uložení pro malé servo. Na malém servu je přes redukci namontováno rameno. Na konci tohoto ramene je umístěna naběrací vidlička ve tvaru L. Vidlička poté nabírá kuličku ze zásobníku. Jelikož rameno je dlouhé vůči velikosti serva, z pod uložení malého serva se navrhla úzká destička. Na ní je namontováno kluzné ložisko, které zkracuje rameno ohybového momentu. Sníží se tím opotřebení ložiska servomotoru. Na druhém konci destičky je namontováno závaží. Dojde tak k posunutí těžiště namontovaného celku do osy otáčení hlavního serva. Jeho ložisko tak nebude zatěžováno nepotřebným zatížením (Obr. 24).



Obr. 23 Pohled na návrhovou sestavu třídiče v prostředí Inventor 2013 [14]

Další členem třídiče je zásobník kuliček. Ten se skládá ze dvou dílů. První je stojan, jenž je přichycen k základně. Druhý díl je vyroben z U profilu a jsou v něm vyfrézovány dvě drážky, umožňující vidličce pohodlně nabrat kuličku. Dále je skloněn o úhel, aby kuličky sjely na požadované místo. Profil je upevněn pomocí zápustných šroubů.



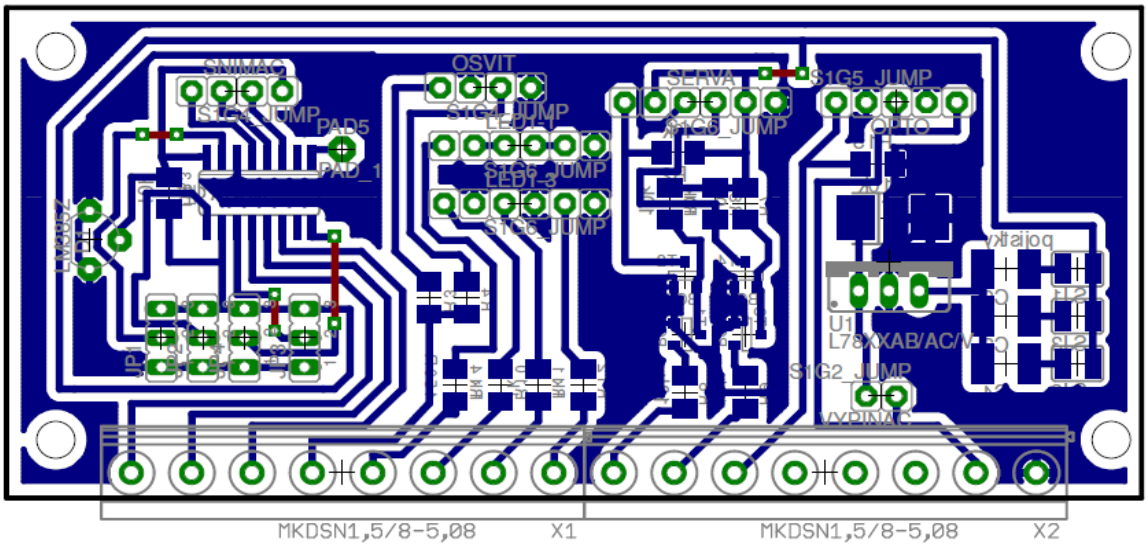
Obr. 24 Půdorysný pohled při řešení těžiště [14]

Zásobníky pro roztřiďování jsou umístěné po kružnici. Jejich střed je v ose otáčení hlavního serva. Jsou odsazené od sebe o určitý úhel. Skládají se z trubičky s osazením a zespodu je nasazena plastová krytka.

Elektronika optozávory je upevněna na stojáncích z kulatiny. Skrz jsou vyvrtané otvory pro vedení drátků. V místě uchycení senzorů je osazení, aby byly schovány před nechtěným mechanickým poškozením. Pro maximální využití tohoto prvku, byl vysílač a přijímač optozávory umístěn do rohů. Přes zrcátko umístěné na třetím stojánku se pak paprsek z vysílače odráží od zrcátka a dopadá na přijímač. Celá situace je patrná na Obr. 23.

7.2 Elektronická část

Na třídiči kuliček je použito několik druhů elektronických prvků. Mezi zakoupené patří optozávora, čidlo pro snímání barvy se zesilovačem. Na Obr. 25 je pohled na vyrobený plošný spoj umístěný na desce. Obsahuje místa pro napájení snímače a zesilovače, pro napojení osvětlujících led světel pro snímání (místo označené *OSVIT),* signalizačních led pro optozávoru. Nedílnou součásti jsou přepínače (*Jumpery)*, které slouží pro kombinaci uzemnění a napájení pro zesilovač. Takto je možno nastavit výsledné zesílení pro výstupy ze zesilovače. Připojení pro serva je zde vyřešeno dvojnásobným tranzistorem. Vše je na desce přehledně uspořádáno a svedeno na 16 výstupních pinů.

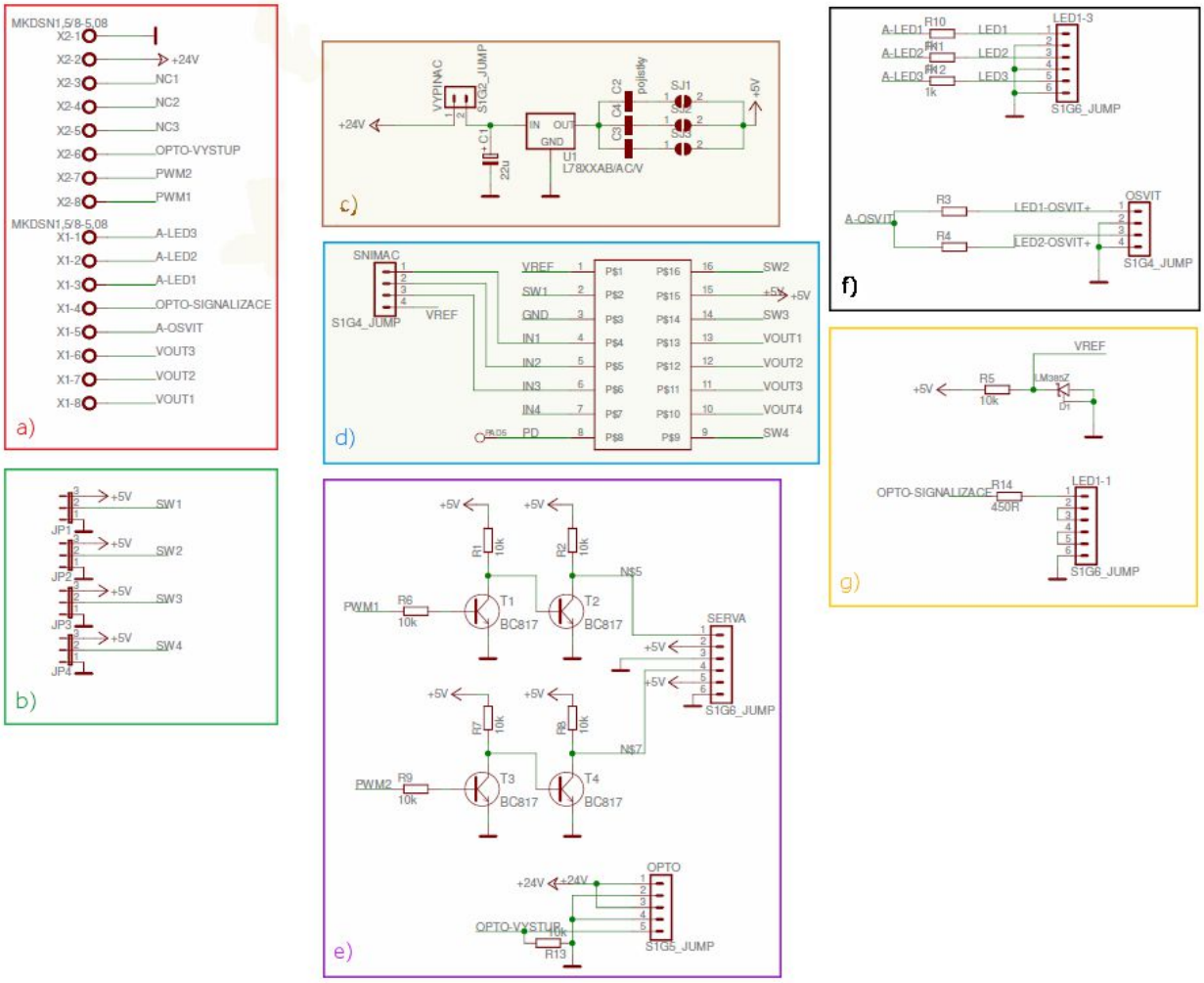


Obr. 25 Schéma plošného spoje [11]

7.2.1 Schéma zapojení

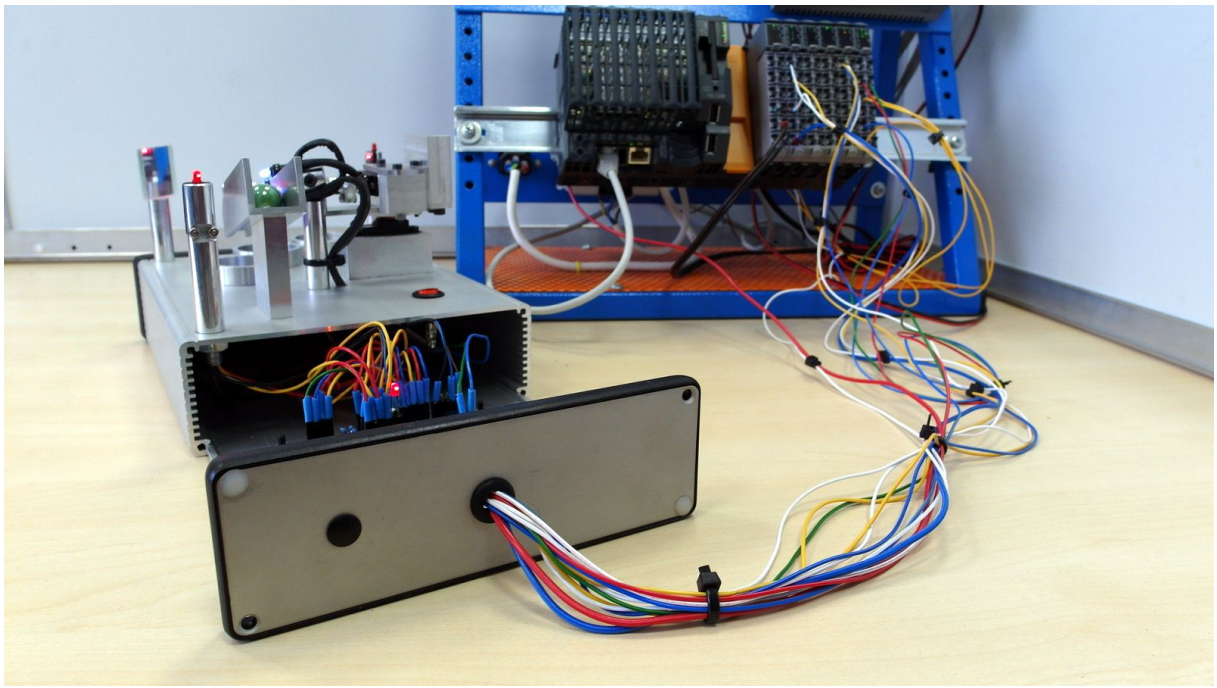
Na Obr. 26 je znázorněno schéma plošného spoje, které se dělí do několika oblastí:

a) Vstupní, výstupní piny pro svorkovnici.
b) Mechanické přepínače (*Jumper)* pro nastavení vhodné kombinace, určující výsledné zesílení zesilovače.
c) Centrální vypínač se stabilizátorem a pojistkami. Slouží jako ochrana při najetí serv do mechanické překážky, aby nedošlo k poškození motorů serv.
d) Zesilovač s napojeným snímačem.
e) Dvojnásobné tranzistory pro snížení hodnoty napětí PWM signálu. Jeho velikost při výstupu z automatu je 24V a je třeba ji snížit na 5V vhodnou pro serva.
f) Napájení pro led signalizace při sepnutí optozávory a napájení pro osvětlující led pro snímač. Potřebné napětí pro každou led je odvozeno umístěným vhodným odporem.
g) Řešení napájení referenčního napětí pro snímač barev a zesilovač a výstupu z optozávory pro PLC.

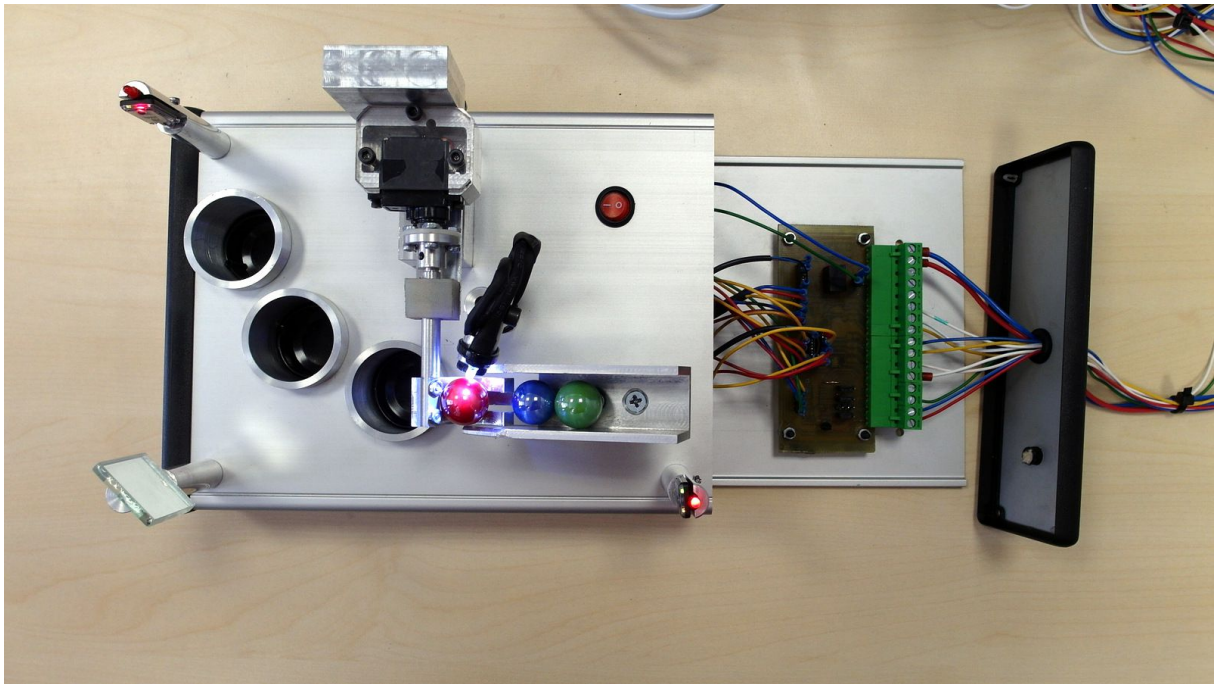


Obr. 26 Schéma plošného spoje:
a) Vstupní/výstupní piny; b) Přepínače pro zesilovač; c) Vypínač s pojistkami; d) Zesilovač se snímačem; e) Regulace PWM a napájení optozávory; f) Napájení led světel; g) Referenční napětí a výstup z optozávory [11]

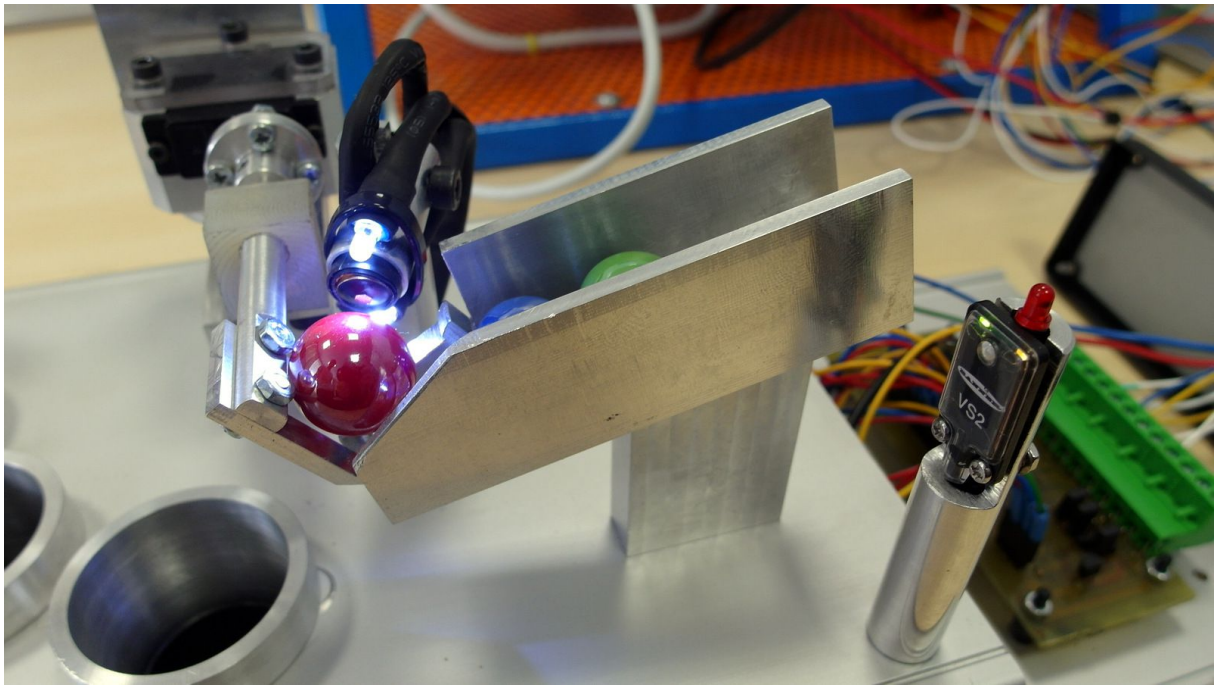
7.2.2 Konstrukční realizace



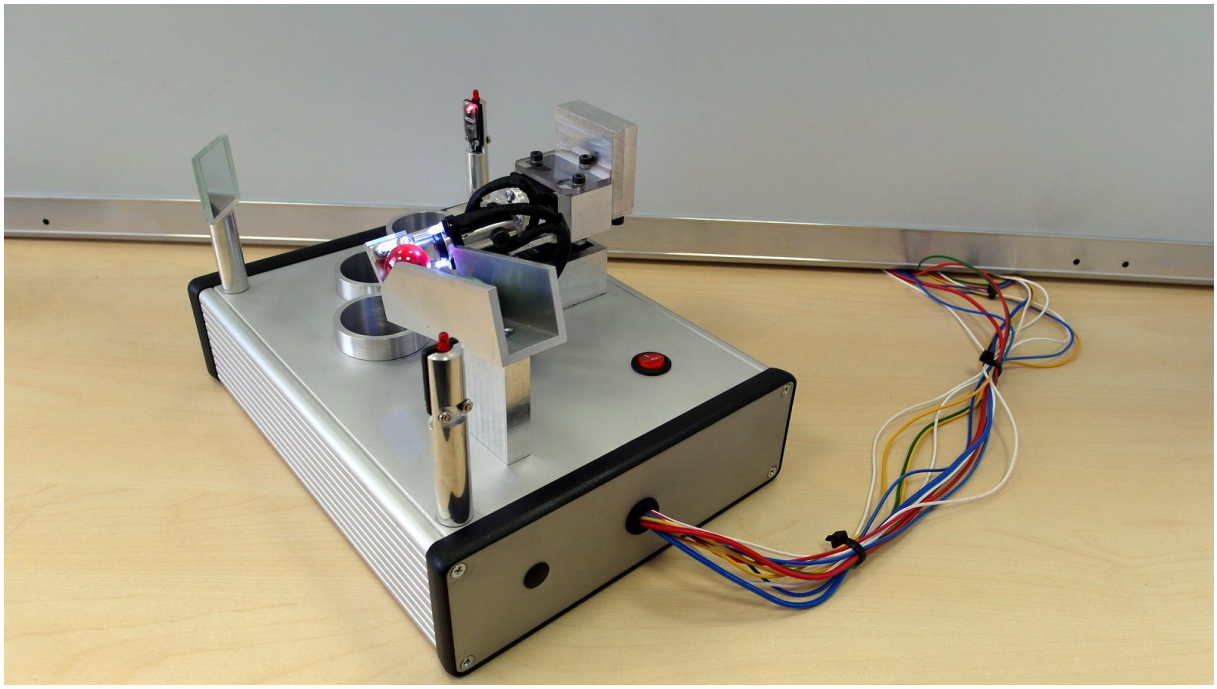
Obr. 27 Pohled na odkrytý třídič s automatem



Obr. 28 Půdorysný pohled



Obr. 29 Detail snímače barev s osvělujícími LED



Obr. 30 Zakrytovaný manipulátor

8 PROGRAMOVÁNÍ

Základem pro programování PLC je tvorba stavového diagramu (*Flow Chart*). Je výborným pomocníkem co se týče zpřehlednění jednotlivých stavů při návrhu automatu. Program se poté snáze tvoří a programátor má přehled o celé situaci. Může ho dodatečně opravovat, upravovat měnícím se podmínkám zadání. Dobře vypracovaný a promyšlený diagram velice ulehčí následné programování.

Programovat se dá v několika jazycích. Pro tento automat je zvolen jazyk Ansi C. Kód je naspán v prostředí programu *AutomationStudio 4.0* [2] .

8.1 Použitý typ

Pro řízení všech operací třídiče kuliček je zvolen systém *X20CP1584* od firmy *Bernecker&Rainer* (*B&R)*. Pro tento účel je více než postačující. Kromě ergonomického designu poskytuje širokou možnost kombinace komponent pro daný účely. V modulu se nachází tři základní prvky. Svorkovnice, elektrický a sběrnicový modul. Modularita vede k systému, který kombinuje výhody uspořádání do nosiče a jednotlivého (plátkového) uspořádání. Například možnost rychlo-zásuvné elektroniky, místa pro přidání sběrnic pro rozšíření možností. Jednotka je vybavena procesorem Intel ATOM 333MHz. Obsahuje zásuvku pro Ethernet, Powerlink a konektor pro USB. Samozřejmostí je slot paměťovou kartu (*Compact Flash*).

Obr. 31 Použité CPU [2]

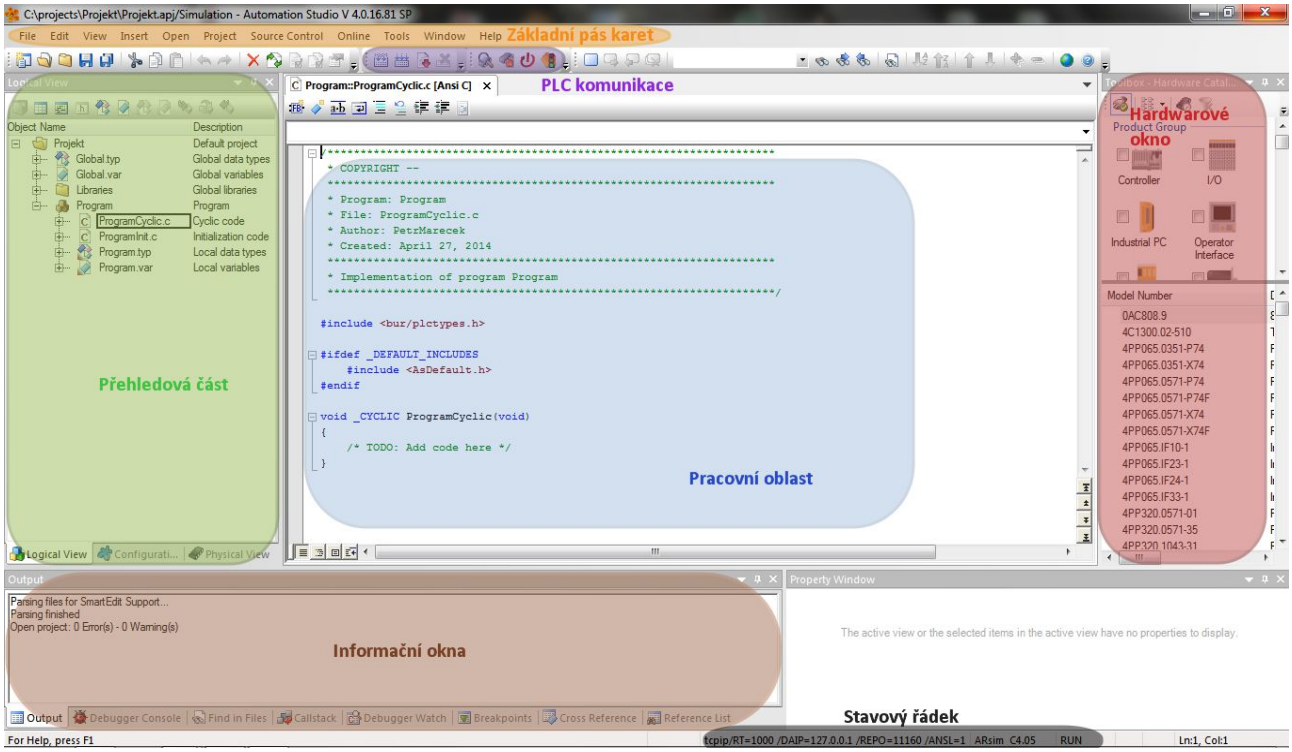
Firma B&R poskytuje i software pro programování. Jedná se o program Automation Studio. Výhodou tohoto programu je možnost pracovat s několika programovacími jazyky, používající stejné datové typy, stejné knihovny i proměnné.

Zvolený automat je programován pomocí jazyku ANSI C. Jazyk je velice vhodný pro programování aplikací a knihoven. Dovoluje uživateli volat funkční bloky, proměnné i z jiných jazyků IEC (*International Electrotechnical Commission*). Výhodou ve srovnání s jinými jazyky je, že poskytuje programátorovi daleko širší pole vlastní iniciativy.

8.2 Automation studio 4.0

B&R Automation studio, dále jen AS, je integrované prostředí pro vývoj softwaru, který obsahuje nástroje pro všechny fáze vývoje projektu. Regulátory pohonu, komunikace a vizualizace mohou být nakonfigurovány v jednom prostředí.

Na následujícím obrázku je vidět základní na pohled prostředí AS.



Obr. 32 Prostředí Automation Studia [2]

Poskytuje jako většina programů základní pás karet, kde jsou skryté veškeré funkce programu. Samozřejmostí je možnost si své oblíbené panely nástrojů vytáhnout z nabídky a připnout si je na některou z lišt.

Nalevo zeleně označená oblast slouží k orientaci. Skrývají se v ní tři karty. První z nich „*Logical view*“ obsahuje strom projektu. V něm například soubor „*Gobal.var*“ obsahuje veškeré globální proměnné. Pokud je vytvořeno vícero programů, programátor může tyto proměnné používat ve všech programech. Dále je zde složka „*Libraries*“, ve které jsou uloženy základní knihovny (funkční bloky, funkce atd.). Mohou být editovány i doplňovány o nové uživatelské knihovny. Poslední důležitou položkou je „*Program*“. Ten se větví na podobnou část jak hlavní strom projektu. Obsahuje inicializační program „*ProgramInit.c*“, který proběhne jedenkrát po nahrání programu. Dále „*ProgramCyclic.c*“ což je soubor s hlavním programem, který je uložen v určité cyklické třídě (*Tasc Class*).

Druhá karta je „*Configuration view*“. Ta poskytuje přehled cyklických tříd, do kterých jsou vkládány jednotlivé programy. Třídy mohou být různě obsazeny, také se mohou měnit jejich vlastnosti.

V posledním okně této oblasti „*Physical view*“ má uživatel možnost nakonfigurovat si hardwarovou sestavu podle skutečného zařízení, libovolně ji měnit, uzpůsobovat. Pomocí funkce „*I/O mapping*“ lze načíst okno, kde jsou sledovány proměnné na vstupech, výstupech hardwaru.

Program je sepisován v modře označené oblasti. Ta se liší podle toho, v jakém jazyce se programuje. U programování v jazyku ANSI C se napřed načtou základní knihovny pro běh programu.

Hnědě označená oblast informuje o aktuální práci programu. Pomocí stavových řádků stručně podává informace, upozorňuje na chyby v programech a označuje je čísly. Další více používané okna jsou „*Debugger Console*“ a „*Breakpoints*“. Používají se při hledání chyb v programu.

Pro odeslání programu do PLC anebo simulaci slouží fialově zbarvená oblast. Tlačítko „*Build*“ znovu zkompiluje všechny softwarové objekty (úkoly, knihovny atd.) v aktivní konfiguraci, jejíž data se změnila od posledního nahrání. Vedlejší položka „*ReBuild*“ provede tu samou operaci bez ohledu na to, zda-li nějaká změna proběhla. Třetí je „*Transfer*“, který vytváří konfiguraci a posílá jednotlivé objekty do jejich patřičných míst v paměti. Další položkou je nástroj „*Monitor*“. Spustí monitorovací mód pro diagnostiku programu. Zbývající dvě jsou pro restart PLC či simulace.

Vpravo se nachází knihovna hardwaru firmy B&R. Slouží pro nakonfigurování sestavy automatu, přesné kopie reálného PLC a pro testování programu.

Stavový řádek je dole zaznačen černým polem. Informuje s jakým PLC a v jakém stavu je program propojen (*Run/ Offline/ Simulation*).

8.3 Cyklické třídy

Při návrhu stavového diagramu i při tvorbě programu je třeba brát v potaz způsob běhu programu v automatu. Každý program uložený v cyklické třídě probíhá stále dokola. Minimální délka cyklu, tedy perioda této třídy je u zvoleného CPU 1ms. Periodu je možné měnit podle potřeb uživatele. Program automatu lze dělit od několika pod programů. Ty pak dát do vhodných tříd podle využití programu, následně je jedním hlavním programem provolávat.

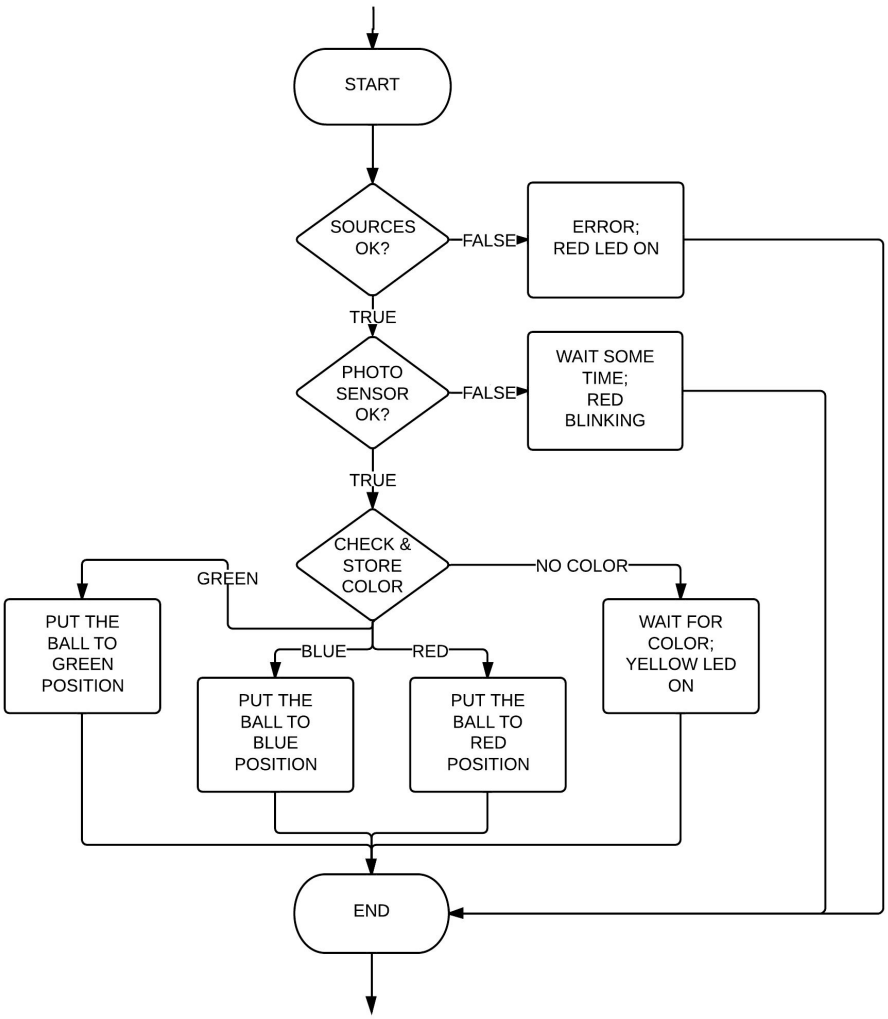
Object Name	Version	Transfer To	Size (bytes)	Source	Source File	Description
CPU						
Cyclic #1 - [1 ms]						
Program	1.00.0	UserROM	0	Program	Config2\X20CP1584\Cpu.sw	Program
Cyclic #2 - [15 ms]						
Cyclic #3 - [15 ms]						
Cyclic #4 - [100 ms]						
Program_2	1.00.0	UserROM	0	Program_2	Config2\X20CP1584\Cpu.sw	Program
Cyclic #5 - [200 ms]						
Cyclic #6 - [500 ms]						
Cyclic #7 - [1000 ms]						
Cyclic #8 - [10 ms]						

Obr. 33 Seznam cyklických tříd v AS [2]

8.4 Stavový diagram

Stavový digram je vytvořen volně dostupném programu *Lucidchar*t od firmy *Lucid Software inc*. [12]. Jeho volně stáhnutelná verze obsahuje základní funkce postačující k tvorbě.

Na následujícím obrázku je znázorněn návrhový stavový diagram. Jednotlivé operace jsou pro zpřehlednění situace znázorněné různými tvary. Zaobleným obdélníkem (*Terminator*) začíná a končí program. Kosočtverci (*Conditions*) se vytvářejí rozhodnutí. Obdélník s ostrými rohy (*Action or Process*) obsahuje buď jednu operaci (*Red Led On*), nebo pod program (*Put the Ball to Blue Position*). Šipky ukazují sekvenci kroků a směr chodu programu.



Obr. 34 Stavový diagram pro třídič kuliček [12]

9 ZÁVĚR

Tématem této bakalářské práce je návrh a realizace třídiče kuliček řízeného programovatelným automatem. Na modelu se použil snímač barev, optozávora a pro pohyb modelářské servomotory.

Úvod rešeršní části je věnován centrální programovací jednotce, rozdělení a práci programovatelného automatu. Dále popisuje druhy programovacích jazyků a vstupní senzoriku. Zvláště prvky jako optozávoru a snímač barev se zesilovačem, které byly použity na třídiči. Je zde popsána funkce použitých modelářských serv s popisem PWM signálu. Programovací část se věnuje obecnému popisu použitého programovací programu Automation Studio 4.0 od firmy Bernecker&Rainer.

Jednotlivé díly třídiče byly navrženy v prostředí programu Autodesk Inventor 2013 s odpovídající výkresovou dokumentací, podle které byly vyrobeny. Použitá elektronika byla propojena pomocí pinů na centrální plošný obvod s vyvedením na svorkovnici. Výkresy a elektrické schéma plošného spoje jsou součástí přílohy dokumentu na CD.

Sestrojený komplet představuje kompaktní model, který dbá na bezpečnost studentů. Podařilo se maximálně využít optozávory pomocí zrcátka umístěného v rohu. Na sloupcích optozávory jsou umístěny signalizační led, informující o sepnutí závory. Pomocí osvětlujících led světel se zajistili konstantní podmínky pro snímání barev. Plošný obvod zajišťuje přehlednost zapojení. Při programování automatu se student zdokonalil ve znalostech PLC. Tvorbou vlastního programu a stavového diagramu v oblasti programování a také v elektronice. Třídič kuliček je připojen ke zvolenému automatu pro použití ve výuce, případně pro prezentaci Ústavu automatizace a informatiky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] ŠMEJKAL, Ladislav; Martinaskova, Marie. *PLC a automatizace: základní pojmy, úvod do programování*. 1 vyd. Praha : BEN, 2007. 224s. ISBN 978- 80-96056-58-6.

[2] Bernecker & Reiner. *Perfection in Automation* [online]. 2012 [cit. 14. prosince 2013]. Dostupné z: <http://www.br-automation.com/cs/perfection-in-automation/>.

[3] VOJAČEK, Antonin. *Programovací režimy pro PLC dle IEC 61131-3 (CoDeSys)* [online]. 2011, 3. březen [cit. 18. prosince 2013]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/programovaci-rezimy-pro-plc-dle-iec-611313-codesys>.

[4] KOCHANIČEK, Ludvik. *Programovací jazyky pro PLC* [online]. 2010, 8. duben [cit. 18. prosince 2013]. Dostupné z: <http://coptel.coptkm.cz/?action=2&doc=3905&docGroup=179&cmd=0 >.

[5] Eaton corporation. *Powering Business Worldwide* [online]. 2013 [cit. 20. prosince 2013]. Dostupné z: <http://www.moeller.net/en/index.jsp>.

[6] MARK, Robert. *Servomotor information* [PDF dokument]. 5.8.2010 [cit. 20.února 2014]. Dostupné z: <http://www.bpesolutions.com/bpemanuals/Servo.Info.pdf>.

[7] ŠTĚTINA, Josef. *Virtuální laboratoř měření* [online]. 2003 [cit. 27. února 2014]. Dostupné z:<http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/index.htm>.

[8] Pelikan Daniel. *Vše pro RC modely* [online]. 2011 [cit. 22. dubna 2014]. Dostupné z:<http://pelikandaniel.com/>.

[9] Banner. *The photoelectric specialist* [online]. 2014 [cit. 24. dubna 2014]. Dostupné z:<http://www.bannerengineering.com/en-US >.

[10] MAZeT. *Electronic engineering & manufacturing services* [online]. 2014 [cit. 24.dubna 2014]. Dostupné z: <http://www.mazet.de/en/products/jencolor/true-color-sensors#.U1gjefl_sTA>.

[11] Zuth, Daniel. *Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky* [hardware]. 2014 [cit. 15. dubna 2014].

[12] Lucidchart. *Diagrams Done Right.* [software]. 2014 [cit. 29. dubna 2014]. Dostupné z: <https://www.lucidchart.com/>.

[13] ŠALOUN, Petr. *Programování v jazyce C – 1. Úvod* [online]. 2003, 18. květen [cit. 4. května 2014]. Dostupné z : <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/software/programovani-v-jazyce-c-1-uvod.html>.

[14] Autodesk Iventor 2013. *3D Cad software for mechanical design* [software]. 2013 [cit. květen 2014]. Dostupné z : <http://www.autodesk.com/products/autodesk-inventor-family/overview>.

[15] Pro-Panel Services, LLC. *Complete Control Panel & E-House Fabrication* [online]. 2008 [cit. 6. května 2014]. Dostupné z: <http://www.propanelservices.com/index.html>.

OBSAH CD

Ball_Manipulator_Documentation.pdf	Dokument ve formátu prohlížení a tisk.
Ball_Manipulator_Inventor.zip	Archiv obsahující 3D návrh a výkresy.

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

2-BS-1	TŘÍDIČ KULIČEK	VÝKRES SESTAVENÍ
4-BS	TŘÍDIČ KULIČEK	KUSOVNÍK
3-BS-1	PODSTAVA	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-2	STOJAN_ZRCATKO	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-3	ZCRATKO	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-4	KRABICE_TRUBKA	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-5	STOJAN_SENZOR	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-6	SLOUPEK_SERVO	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-7	DESKA	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-8	ULOZENI_SERVA	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-9	ZAVAZI	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-10	KRYCI_PLEXI	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-11	REDUKCE	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-12	RAMENO	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-13	KLUZNE_LOZISKO	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-14	LZICE	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-15	SKLUZ	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-16	SLOUPEK_SKLUZ	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-17	STOJAN_CIDLO	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-18	RAMENO_CIDLO	VÝROBNÍ VÝKRES
4-BS-19	DRZAK_CIDLO	VÝROBNÍ VÝKRES