České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Řízení modelu technologického procesu PLC OMRON

Praha, 2009 **Autor: Otakar Tepřík**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb. , o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Otakar Tepřík

V Praze dne 21. května 2009 Otakar Tepřík

Poděkování

Dovoluji si na tomto místě poděkovat katedře řídicí techniky Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze za finanční podporu realizační části této diplomové práce. Chtěl bych dále poděkovat především Doc.Ing. Kateřině Hyniové CSc. jakožto vedoucímu mé diplomové práce za rady a pomoc s touto prací. Dále také Ing. Jaroslavu Honců za pomoc s elektronickou částí. Můj dík patří také celé mé rodině za trpělivost, kterou se mnou měli v době výroby a také za jejich morální podporu.

Abstrakt

Tématem diplomové práce je řízení modelu technologického procesu pomocí PLC Omron. Model simuluje princip třídicí linky a je realizován pomocí pásových a posuvných dopravníků. Na dopravnících se pohybují krabičky, které jsou naplňovány předměty a dále dle barvy předmětu tříděny. Poloha krabiček na dopravnících je snímána optickými závorami a inkrementálními snímači otáček. Řízení modelu je manuální i automatické. Lze ovládat nezávisle všechny prvky v modelu, regulovat rychlost pásových dopravníků a směry posuvných dopravníků. Model je optimálně řízen pomocí PLC Omron. Lze porovnat manuální a automatické řízení.

Abstract

The theme of the graduation thesis is to control a real model of the given technological process including by PLC Omron. The model simulates principles of a sorting production line and is designed by means of conveyor belts and sorting sliding transporters. Boxes transported on the conveyor belts are filled up with various subjects and sorted on the base of their color. Current position of each box is detected by optical and incremental rotary sensors. The control of the model is manual or automatic. Each element in the model is individually controllable as well as velocity of the conveyor belts and movement direction of the sliding transporters. The model is optimally controlled by PLC Omron. We can compare manual control with automatic control.

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Otakar Tepřík**

Studijní program: Elektrotechnika a informatika (magisterský), strukturovaný
Obor: Kybernetika a měření, blok KM1 - Řídicí technika

Název tématu: **Řízení modelu technologického procesu PLC OMRON**

Pokyny pro vypracování:

1. Navrhněte výukový model třídicího technologického procesu s pásovými dopravníky pro laboratorní cvičení předmětu Instrumentace procesů. Pozornost věnujte rozmístění čidel (optické závory, inkrementální snímače otáček, snímač barev) nezbytných pro synchronizaci pohybu jednotlivých dopravníků.
2. Automatické řízení navrženého modelu realizujte pomocí PLC OMRON.

Seznam odborné literatury:

Dodá vedoucí práce

Vedoucí: Doc.Ing. Kateřina Hyniová, CSc.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2009/10

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

L.S.

doc. Ing. Boris Šimák, CSc.
děkan

V Praze dne 27. 2. 2009

Obsah

Seznam obrázků **viii**

Seznam tabulek **x**

1 Úvod **1**

1.1 Problematika návrhu technologického procesu 1

1.2 Cíl práce 3

2 Programovatelné logické automaty **4**

2.1 Popis PLC OMRON–60CD_R 5

2.1.1 Základní technické parametry 5

2.1.2 Rozdělení paměťových oblastí 6

2.1.3 Zpracování vstupních signálů 7

3 Popis technologického procesu **8**

3.1 Jednotlivé prvky technického zpracování 8

3.2 Model třídicí linky 10

3.2.1 Popis modelu 10

3.2.2 Snímače polohy 12

3.2.3 Snímač barev 13

3.2.4 Ovládání modelu 15

4 Technické zpracování **16**

4.1 Elektronické zpracování řídicí části 16

4.1.1 Napájecí zdroj 16

4.1.2 Řídicí část 17
4.1.2.1 Řízení pásových dopravníků 17
4.1.2.2 Řízení posuvných dopravníků 19
4.1.3 Výkonová ovládací část 22
4.1.4 Zpracování výstupu čidel a indikační část 22
4.1.5 Komunikace s PLC 24
4.2 Vzájemné propojení elektronických obvodů, PLC a modelu 25
4.3 Úpravy dopravníků 30

5 Popis řízení technologického procesu 31
5.1 Návrh řízení 31
5.2 Omezení řízení 32
5.3 PLC program 33
5.3.1 Inicializace 33
5.3.2 Volba rychlosti 34
5.3.3 Pohyby posuvných dopravníků 34
5.3.4 Rutiny přerušení 34
5.3.5 Přesuny krabiček 34
5.3.6 Přesuny předmětů 35
5.3.6.1 Řešení několika předmětů na dopravníku 36
5.3.6.2 Detekce barvy 37
5.4 Testování, problémy 38

6 Závěr 39

Literatura 41

A Kód I
A.1 Pro mikrokontrolér MC68HC908QY4 I

B Plošné spoje IV
B.1 Napájecí zdroj IV

B.2 Řídicí část VII
B.3 Výkonová ovládací část XII

C Obrázky modelu **XVII**

D Obsah přiloženého CD **XX**

Seznam obrázků

2.1 Zapojení tranzistorových vstupů 5
2.2 Zapojení reléových výstupů 5

3.1 Schéma rozestavení jednotlivých komponent modelu technologického procesu 11
3.2 Špatná hrana, dobrá zaoblená hrana 11
3.3 Snímač barev Omron E3MC-A41 13
3.4 Ovládací panel 15

4.1 Napájecí zdroj řešený pomocí obvodu LM2576 17
4.2 Řídicí část s mikrokontrolérem MC68HC908QY4 19
4.3 Řídicí část s obvody 74HC02 20
4.4 Schéma zapojení třístavového budiče 74HC244 21
4.5 Výkonová ovládací část pro řízení motorů 22
4.6 Způsoby zapojení optických závor 23
4.7 Schéma zapojení inkrementálních rotačních čidel 24
4.8 Převod dat z PLC na 5V pomocí optronu 25
4.9 Označení pinů pro optickou závoru 2, IRC2 a motor 3 28
4.10 Označení pinů pro dojezdové spínače 1 a motor 1 29
4.11 Označení pinů pro dojezdové spínače 4 a motor 4, dojezdové spínače 5 a motor 5, IRC1 a motor 2 29
4.12 Označení pinů pro optickou závoru 1 a optickou závoru na gravitačním zásobníku 29
4.13 Správné umístění čidla barev a optické závory 30

B.1 Napájecí zdroj řešený pomocí obvodu LM2576 IV
B.2 Deska plošného spoje - napájecí zdroj - osazení součástek V
B.3 Deska plošného spoje - napájecí zdroj - strana spojů V
B.4 Deska plošného spoje - napájecí zdroj - strana součástek VI
B.5 Řídicí část VII
B.6 Deska plošného spoje - řídicí část - osazení součástek VIII
B.7 Deska plošného spoje - řídicí část - strana spojů IX
B.8 Deska plošného spoje - řídicí část - strana součástek X
B.9 Výkonová ovládací část pro řízení motorů XII
B.10 Deska plošného spoje - výkonová ovládací část - osazení součástek XIII
B.11 Deska plošného spoje - výkonová ovládací část - strana spojů XIV
B.12 Deska plošného spoje - výkonová ovládací část - strana součástek XV

C.1 Gravitační zásobník XVII
C.2 Gravitační zásobník,posun XVII
C.3 Držák čidla barev XVIII
C.4 Místo pádu P XVIII
C.5 Posuvný dopravník XIX
C.6 Celkový pohled na model XIX

Seznam tabulek

3.1 Volba banky pomocí řídicích vstupů 15

4.1 Tabulka udávající volbu dopravníku v závislosti na stavech vstupů 18
4.2 Tabulka směrů v závislosti na vstupních signálech 20
4.3 Pravdivostní tabulka logické funkce NOR 21
4.4 Funkční tabulka třístavového budiče 22
4.5 Propojení PLC s elektronickou částí 26
4.6 Propojení řídící části s ostatními částmi modelu 27
4.7 Propojení dojezdových spínačů 28

B.1 Seznam použitých součástek pro napájecí zdroj VI
B.2 Seznam použitých součástek pro řídicí část XI
B.3 Seznam použitých součástek pro výkonovou ovládací část XVI

Kapitola 1

Úvod

Technologický proces výroby, výběru a třídění objektů, sestavování na montážních linkách atd. lze dnes vidět v každém průmyslovém odvětví. Návrh tohoto procesu není nikterak jednoduchá záležitost a musí se přihlížet k mnoha okolnostem závislých na prostředí, obsluze, způsobu používání atd.

Dále vyvstává otázka efektivního způsobu řízení tohoto procesu. Zásadním je rozhodnutí, zda pro daný proces bude nejvhodnější volbou neautomatizované, poloautomatizované nebo plně automatizované řízení. Automatizovaného řízení lze využít na místech stereotypního procesu, jako jsou např. výrobní linky. Zde by se jen těžko dosahovalo při použití neautomatizovaného (manuálního) řízení takové produktivity a spolehlivosti jako při automatizovaném.

Automatické řízení lze provádět mnoha způsoby, závislými na složitosti řízeného procesu. Od jednoduchých mikrokontrolérů, autonomních PLC přes složitější struktury řízení jako jsou paralelní multiprocesorové systémy nebo kombinace jednodušších systémů.

1.1 Problematika návrhu technologického procesu

Postup při návrhu technologického procesu se skládá z následujících kroků.

- Analýza a identifikace technologického procesu

- Sestavení matematického modelu technologického procesu
- Návrh algoritmu logického řízení
- Dekompozice řídicího automatu
- Syntéza automatu, realizace řídicího systému a funkční testy

Pro tyto fáze návrhu zatím neexistují žádné exaktní metody, které by jednoznačně vedly k cíli. Hraje zde velmi důležitou roli intuice a zkušenost navrhovatelů i konstruktérů. Matematická formulace požadavků, kritérií a cílů kladených na řídicí obvod, která by byla vhodná k dalšímu zpracování těchto informací, je velmi náročná a bez zkušenosti takřka nemožná.

V případě rozhodnutí pro automatické řízení technologického procesu je nutná znalost jeho jednotlivých členů, provozních podmínek stejně tak jako požadavků zadavatele. Nesporným hlediskem je cena, spolehlivost a životnost jednotlivých komponent řídicího obvodu.

Všechny tyto požadavky do značné míry určují charakter, typ a umístění nejen samotného řídicího systému, ale i nezbytných snímačů, akčních členů apod.

Ve většině případů se jedná o řízení složitějších technologických procesů vyžadující dekompozici. Tento způsob umožňuje samostatné řešení nezávislých (popř. částečně nezávislých) částí procesu. Toho se velice často využívá při řešení ve skupinách lidi. Dochází ke zrychlení návrhu. Značné výhody má, ale i při práci jednotlivce.

Samotný řídicí algoritmus pak může pracovat

- paralelně

  Algoritmus je realizován pevným naprogramováním nebo předprogramovatelným modulem. Ten lze v případě potřeby modifikovat.

- sériově

  Umožňuje použití technických prostředků s možností naprogramování. Naprogramování zajišťuje určitý stupeň flexibility.

Přestože technologický proces tvoří spolu s řídicí částí celistvý automatizovaný systém, předpokládá přiměřenou externí obsluhu (dodávku součástek, materiálu, pravidelnou údržbu apod.).

1.2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je realizace modelu technologického procesu třídící linky řízeného PLC OMRON–60CD_R s návazností na předchozí bakalářskou práci. Jedná se zejména o optimální řízení, přizpůsobení stávajícího modelu i návrh nových komponent. V rámci řízení budou využívány signály od optických závor, inkrementálních rotačních snímačů, čidla barev a dojezdových spínačů. Model bude ovládán stejnosměrnými motory.

V diplomové práci se budu zabývat jednodušším automatizovaným řízením s přímým porovnáním s manuálním řízením. V konečném výsledku bude zřejmá efektivita využívání automatizovaného procesu oproti manuálnímu řízení.

Kapitola 2

Programovatelné logické automaty

Nedílnou součástí každého automatizovaného řízení technologického procesu je programovatelný logický automat (PLC – *Programmable Logic Controller*). A to nejen kvůli možnostem připojení velkého množství snímačů a senzorů, jako např. optických závor, inkrementálních snímačů otáček, čidel barev, ultrazvukových snímačů, tlakových snímačů a mnoha dalších, ale také kvůli ovládání množství akčních členů od jednoduchých motorů po pneumatické prvky. Dalším důvodem použití PLC je jejich robustnost a odolnost proti vnějším vlivům.

Vstupní část přijímá signály z periférii a nad těmito daty vykonává program. Program je složen z logických výrazů a vykonává se v cyklu. Na začátku takového cyklu jsou načteny hodnoty z vstupních obvodů a po skončení cyklu jsou výstupní data přenesena na výstupní obvody. Jsou zde ale PLC a funkce, které tento striktní cyklus porušují. Příkladem jsou obsluhy přerušení, PWM signály, okamžité vyčtení vstupů atd.

Obecně lze rozdělit PLC na *modulární* – vstupy a výstupy lze je rozšířit o přídavné funkční moduly a *kompaktní* – lze rozšířit pouze pomocí rozšiřovací jednotky. V dnešní době je na trhu nezměrné množství obou druhů a záleží pouze na způsobu použití a na požadavcích, jaké má dané PLC splňovat.

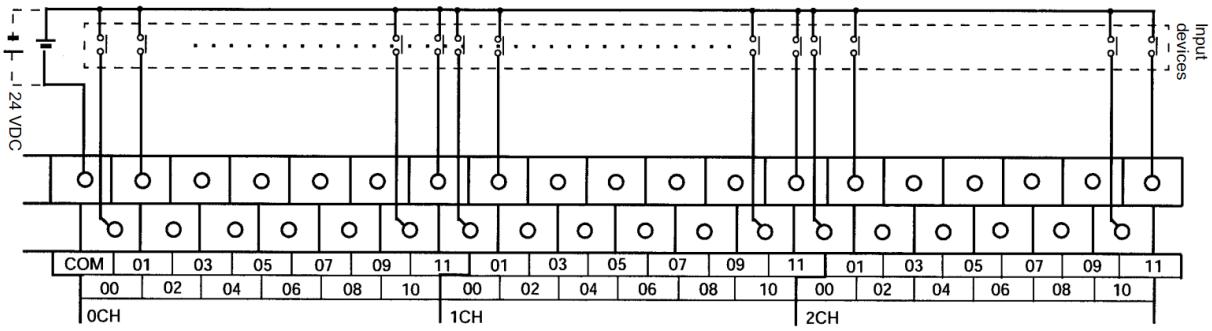
2.1 Popis PLC OMRON–60CD_R

V této sekci se zaměřím pouze na parametry důležité pro tuto práci.

2.1.1 Základní technické parametry

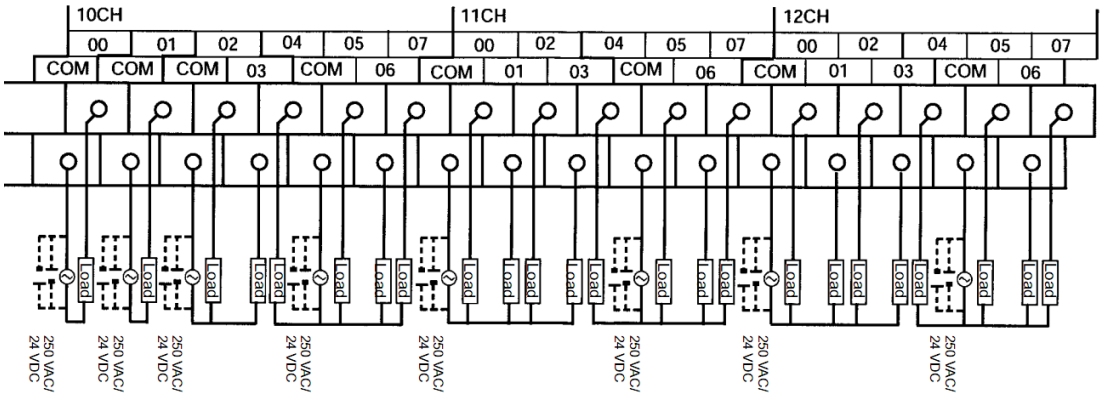
Použitý PLC OMRON–60CD_R umožňuje připojení pomocí:

- 36 tranzistorových vstupů



Obrázek 2.1: Zapojení tranzistorových vstupů

- 24 reléových výstupů



Obrázek 2.2: Zapojení reléových výstupů

- 4 vstupů pro přerušení, 0.03 až 0.06

- nebo 4 vstupů pro 2 kHz čítač

Z PLC je dále vyveden 24V stejnosměrný zdroj s maximálním zatížením 300mA. Více informací lze naleznout v operačním manuálu [1].

2.1.2 Rozdělení paměťových oblastí

Nejdůležitější paměťové oblasti jsou

- IR oblast

  V této oblast lze přistupovat i k jednotlivým bitům.

  - Vstupní oblast - IR000 až IR009
  - Výstupní oblast - IR010 až IR019
  - Pracovní oblast - IR020 až IR049, IR200 až IR227

  Pracovní oblast je určena volně pro potřeby programátora.

- TC oblast (Timer/Counter) - TC000 až TC255.

  Používané pro funkce TIM, TIMH(15), CNT, CNTR(12), TMHH(—) a TIML(—)

- DM oblast

  Tato oblast je přístupná pouze po slovech.

  - Read/Write - DM0000 až DM1999, DM2022 až DM2047.

    Určena volně pro potřeby programátora. Po výpadku napájení se data stále uchovávají.
  - Error log - DM2000 až DM2021.

    Oblast uchovávající chybové zprávy. Případě nepoužití záznamu o chybách lze použít tuto oblast jako Read/Write.
  - Read only - DM6144 až DM6599.

    Nelze přepsat z programu
  - PC Setup - DM6600 až DM6655.

    Oblast uchovávající dostupná nastavení.

Rozsahy dalších oblastí:

- SR oblast - SR228 až SR255
- TR oblast - TR0 až TR7
- HR oblast - HR00 až HR19
- AR oblast - AR00 až AR23
- LR oblast - LR00 až LR15

2.1.3 Zpracování vstupních signálů

Signály přicházející z modelu byly zpracovány jako běžné vstupy. Signály od inkrementálních čidel byly přivedeny na vstup 03 a 04 kanálu 0. V PLC lze tyto vstupy nastavit tak, aby v případě náběžné hrany generovaly přerušení, na které se reaguje skokem do příslušné subroutiny.

Více informací k jednotlivým oblastem a o přerušení lze naleznout v programovém manuálu [2].

Kapitola 3

Popis technologického procesu

3.1 Jednotlivé prvky technického zpracování

Model technologického procesu se skládá z

- Pásových dopravníků

  Počet: 4

  Délka dopravníku: 500 mm

  Rychlost přepravovaného předmětu: s použitými motory maximálně 100 mm/s

  Šířka pásu: 70 mm

  Možnost náklonu dopravníku až 30°

  Možnost zvednutí dopravníku až 150 mm

  Maximální váha přepravovaných předmětů 150 g

  Možnost připevnit optickou závoru

- Posuvného zásobníku

  Délka zásobníku: 220 mm

  Rychlost posunu: 12,5 mm/s

  Bez možnosti náklonu a zvednutí

- Gravitačního zásobníku

  Délka zásobníku: 500 mm

Vnější rozměry: 115 mm x 115 mm

Možnost připevnit optickou závoru

- Rozdělovacího dopravníku

  Skládá se ze dvou posuvných dopravníků

  Bez možnosti náklonu a zvednutí

  Délka prvního dopravníku: 95 mm

  Délka druhého dopravníku: 220 mm

- Podkladové desky

  Rozměry: 900 mm x 1200 mm x 120 mm

- Ovládacího panelu

  Rozměry: 295 mm x 85 mm x 2 mm

- Optických závor

  Počet: 3

  Druh: WT 150-P 132

  Detekovatelná vzdálenost: 20-200 mm

  Diameter: 20-200 mm dle vzdálenosti

  Napájecí napětí: 24 V

  Maximální proud: 20 mA

  Více v [3]

- Inkrementálních snímačů

  Počet: 2

  Označení ENC 22

  Průměr 10 mm, 100 impulsů za otáčku, 2 kanály

  Napájecí napětí: 5 V

  Více v [4]

- Dojezdových snímačů

  Počet: 6

  Druh: mikrospínač 5 A 250 V

- Stejnosměrných motorů

  Počet: 7

  Motor Maxon A-max, 24 V, 3.5 W

  Průměr 22 mm, 4400 otáček/min

  K motoru je připojena převodovka s převodem do pomala

  Více v [5]

- Snímače barev Omron E3MC-A41

  Napájecí napětí: 12–24 V

  Snímací vzdálenost: 60±10 mm

  Úhel snímání: 15°

  Počet rozpoznatelných barev: 4

  Více v [6]

- PLC OMRON–60CD_R

- Elektronických obvodů

  – Napájecí zdroj

  – Řídicí část

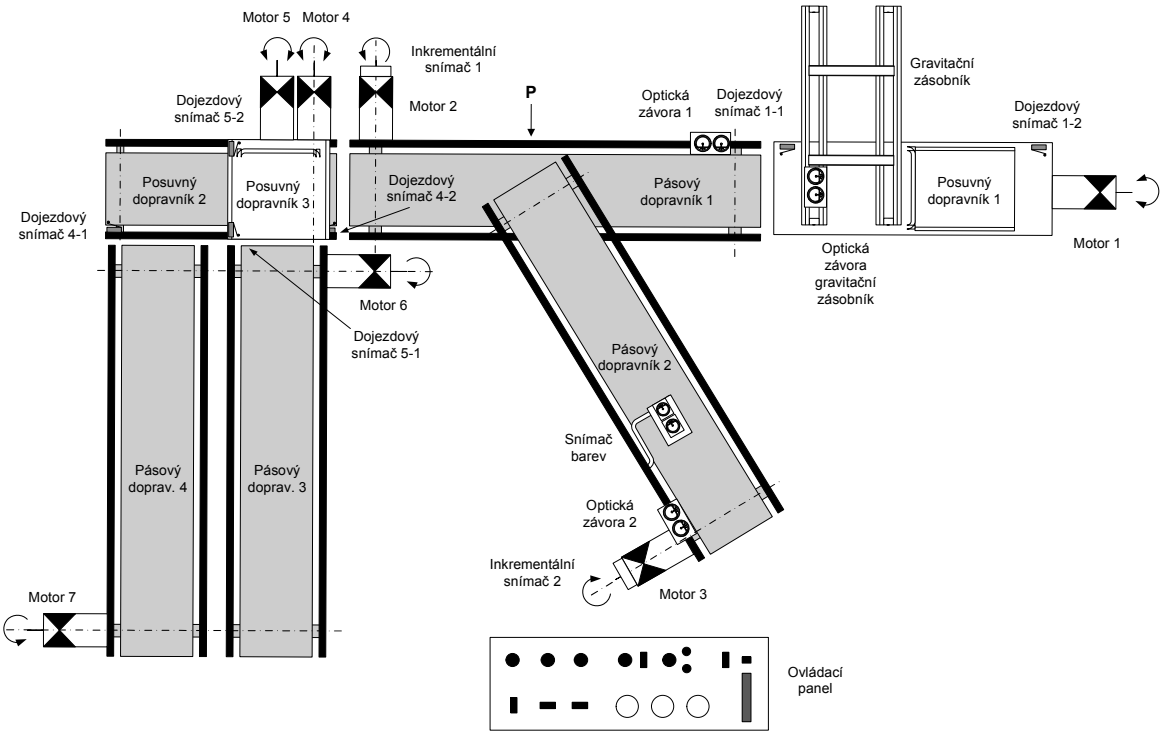
  – Výkonová ovládací část

Obrázky jednotlivých prvků příloha C.

3.2 Model třídicí linky

3.2.1 Popis modelu

Základní funkcí této linky je roztřiďování krabiček dle barvy jejich náplně. Celý proces začíná v gravitačním zásobníku, který má kapacitu 10 krabiček. Krabičku je nutné umístit do gravitačního zásobníku zaoblenou hranou směrem k pásovému dopravníku. Z důvodu,



Obrázek 3.1: Schéma rozestavení jednotlivých komponent modelu technologického procesu

aby nedošlo následně při přechodu krabičky na posuvný dopravník 3 k jejímu zaseknutí. Problém ilustruje obrázek 3.2.

Obrázek 3.2: Špatná hrana, dobrá zaoblená hrana

Na gravitační zásobník plynule navazuje posuvný dopravník, který zároveň zajišťuje zablokování spádu ostatních krabiček při posunu jedné z nich na pás. Na pásovém dopravníku 1 dochází k naplnění krabičky předmětem. Předmět je dodáván obsluhou na dopravník 2, kde se detekuje jeho barva. V okamžiku kdy se krabička nachází v místě P, je předmět pádem přenesen do krabičky. Poté krabička pokračuje k rozdělovacímu dopravníku, kde je přesunuta dle barvy předmětu na jeden z pásových dopravníků, na jejichž koncích je umístěno sběrné místo roztříděných krabiček. Z charakteru procesu je zřejmé, že v něm simultánně probíhá celá řada operací, jejichž synchronizace je jedním z hlavních problémů navrhovaného řízení.

3.2.2 Snímače polohy

Zjišťování polohy krabiček, tříděných předmětů a stavu posuvných dopravníků v modelu zajišťují

1. Optické závory. Detekuje přítomnost krabičky před optickou závorou.

2. Inkrementální snímač otáček. Z jeho pomocí lze získat informaci o otáčkách motoru. Tato informace spolu s informací od optické závory zajistí nejen přesné určení aktuální polohy krabičky (předmětu) na pásu, ale i její polohu v libovolném následujícím okamžiku.

3. Třetím druhem snímače polohy použitého v modelu jsou mikrospínače, použité jako dojezdové snímače posuvných dopravníků. Mikrospínače jsou umístěny tak, aby podávaly informaci o poloze pohyblivé části posuvného dopravníku.

Rozložení jednotlivých snímačů je patrné na obrázku 3.1. Toto rozložení zajistí plnou informaci o polohách krabiček a předmětů. Optická závora na gravitačním zásobníku zjišťuje, zdali jsou krabičky v zásobníku. Další optické závory, umístěné na začátcích dopravníků 1 resp. 2, zajišťují informaci o tom, zda krabička resp. předmět již dorazily na pás. Inkrementální snímače jsou umístěny na prvním a druhém dopravníku. Mikrospínače umístěné na koncích posuvných dopravníků podávají informaci o dojezdu posuvné části na konec tohoto dopravníku a tudíž o nutnosti jejího zastavení. Pokud by nebyly posuvné

části zastaveny, hrozí poškození např. šnekového převodu, proto je nutné zajistit vliv sepnutí těchto spínačů na řízení.

Pokud dojde k poruše jakéhokoliv snímače, nastává závažný problém pro řízení. V reálném provozu by mohly být způsobeny mnohem větší škody než na modelu vzhledem k několikanásobně větším rozměrům. A proto je nutné na tyto poruchy reagovat nebo jim předcházet. Uveďme zde několik alternativ pro řešení poruchy.

- Statická nebo dynamická záloha (redundance – stejný snímač).
- Alternativní detekce např. pro dojezd, měření proudu procházející motorem.
- Přechod do bezpečného stavu (bezpečná porucha).

Možností je mnoho v závislosti na konkrétní situaci. Pro školní účely, kdy při provozu modelu bude vždy někdo přítomný, tudíž lze detekovat poruchu senzoru vizuálně, není nutné se touto problematikou zabývat hlouběji a aplikovat ji na model.

3.2.3 Snímač barev

Obrázek 3.3: Snímač barev Omron E3MC-A41

Snímač pracuje ve třech režimech:

- učení barev (TEACH)

  V tomto režimu lze naučit čidlo až 4 různé barvy (4 banky).

- nastavování prahových úrovní (ADJUST)

  Pro každou barvu lze nastavit toleranční pásmo pro její vyhodnocení.

- rozpoznávání barev (RUN)

  Porovnávání snímané barvy s uloženými barvami.

Možnosti nastavení snímače:

- volba režimu (C/I)
- normální/negovaný výstup (= / $\neq$)
- zpožděná deaktivace výstupu (TMR)
- normální/rychlý režim (3ms/1ms)

V této práci je nastavení snímače – režim C, normální výstup, zpožděná deaktivace výstupu (40 ms), normální režim.

Snímač barev funguje na principu osvětlování předmětu třemi základními barvami – červená, zelená a modrá. Informace o snímané barvě je možné uložit v podobě absolutních hodnot intenzit jednotlivých barevných složek světla odražených od snímaného předmětu (režim I), nebo v podobě poměrných intenzit jednotlivých barevných složek odraženého světla vztažených k součtu intenzit všech barevných složek (režim C). Více o funkcích snímače barev, jednotlivých režimech i o ručním ovládání lze nalézt v [7].

Ovládání snímače, volba banky s barvou, probíhá pomocí řídících vstupů uvedených v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1: Volba banky pomocí řídicích vstupů

Banka	řídicí vstup 1	řídicí vstup 2
1	nepřipojeno	nepřipojeno
2	V_{CC}	nepřipojeno
3	nepřipojeno	V_{CC}
4	V_{CC}	V_{CC}

3.2.4 Ovládání modelu

Volba manuálního nebo automatického režimu ovládání modelu se provádí přepínačem na hlavním panelu. V automatickém režimu ovládá model řídicí systém PLC obsahující algoritmus vytvořený v rámci této práce. Naopak při manuálním režimu je ovládaní plně na obsluze. Lze ovládat směr posuvných dopravníků a rychlost pásových dopravníků.

Obrázek 3.4: Ovládací panel

Kapitola 4

Technické zpracování

V této kapitole jsou uvedeny údaje o technickém provedení technologického procesu, důvody volby jednotlivých elektrických zapojení atd.

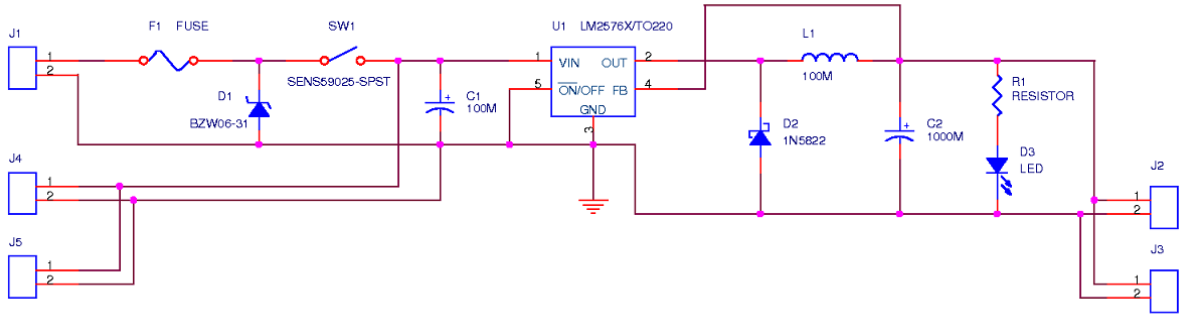
4.1 Elektronické zpracování řídicí části

Elektronické zpracování lze rozdělit do několika bodů.

- Napájecí zdroj
- Řídicí část
- Výkonová ovládací část
- Zpracování výstupu čidel
- Část indikační
- Komunikace s PLC

4.1.1 Napájecí zdroj

V rámci předcházející bakalářské práce byl navržen stejnosměrný spínaný zdroj 5 V. Tento zdroj jsem rozšířil o další přípojné body tak, aby bylo možné připojit více elektronických



Obrázek 4.1: Napájecí zdroj řešený pomocí obvodu LM2576

modulů. Vytvořil jsem novou desku plošného spoje (viz příloha B.1) s vhodnějším rozestavením součástek vzhledem k zamýšlenému umístění v modelu. Pro ilustraci uvádím schéma zapojení 4.1. Popis zapojeni včetně funkce je uveden v bakalářské práci [8].

4.1.2 Řídicí část

Při návrhu řídicí části je nutné brát v úvahu, že potřebujeme měnit rychlost minimálně třech pásových dopravníků. Posuvné dopravníky jsou velice pomalé, tudíž není třeba měnit jejich rychlost. Měníme pouze jejich směr.

4.1.2.1 Řízení pásových dopravníků

Regulovat rychlost pásových dopravníků lze několika způsoby. Nejčastěji používaným způsobem je regulace rychlosti pomocí pulsně šířkové modulace PWM (*Pulse Width Modulation*). Pulsně šířková modulace je velice jednoduchá a přesná metoda řízení rychlosti otáčení motoru. Základem této modulace je vždy pevná nosná frekvence a měronosnou veličinou je šířka obdélníkového impulsu. Dle šířky impulsu dochází ke změně střední hodnoty napětí a tím ke změně rychlosti otáčení (více v [9]).

Již v bakalářské práci byl na tvorbu PWM využit mikrokontrolér Freescale MC68HC-908QY4 [10]. Kde se za pomocí tří potenciometrů měnila délka impulsu PWM. Byl zvolen právě tento způsob vytvoření PWM, protože jedna součástka dokáže řídit tři dopravníky

jen s minimem externích diskrétních součástek. V případě ovládaní motorů pomocí PLC lze také použít tento mikrokontrolér. Při využití potřebných pinů k manuálnímu ovládání, jmenovitě 6+2 napájecí, zbude 8 pinů na připojení dat z PLC. Mikrokontrolér Freescale lze tedy využít i na vytvoření PW modulátoru řízeného číslem.

Principem PW modulátoru řízeného číslem je 5 bitů udávající rychlost dopravníku a 2 bity udávající, jakému dopravníku rychlost přísluší. Více ilustruje následující tabulka 4.1. Kvůli odskokům a odlišným dobám přepnutí relé PLC je nutné přijatá data korigovat. Výsledná střída PWM se aplikuje až po několika cyklech mikrokontroléru, kdy se vstupy ustálí.

Pomocí mikrokontroléru jsou ovládány všechny pásové dopravníky. Dopravníky 3 a 4 mají shodnou rychlost, v této práci není důvod rozdělovat tyto dopravníky na samostatné regulovatelné prvky.

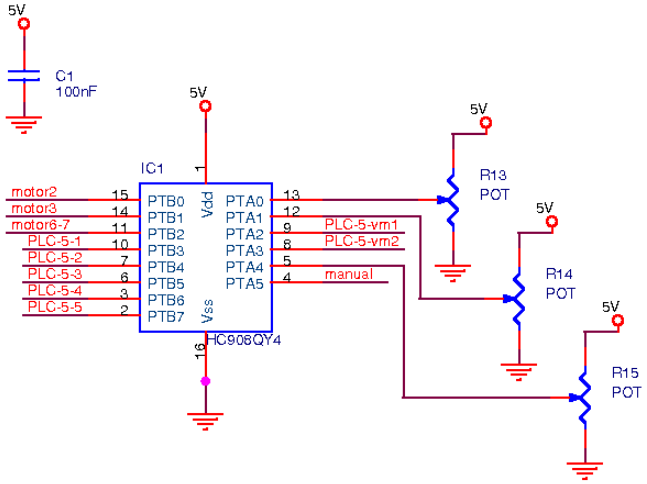
Tabulka 4.1: Tabulka udávající volbu dopravníku v závislosti na stavech vstupů

pin 1	pin 2	volba pásového dopravníku
0	0	žádný dopravník
0	1	dopravník 1
1	0	dopravník 2
1	1	dopravník 3 a 4

Dále je nutné rozlišit, zdali se mají brát v úvahu data přicházející z PLC nebo ručně navolená rychlost pomocí potenciometrů. K tomu je do mikrokontroléru připojen přepínač volby režimu.

V případě manuálního režimu jsou vestavěným A/D převodníkem vzorkována napětí na potenciometrech rychlosti. Dle naměřeného napětí je vypočítána střída PWM. Při nastavování rychlosti z PLC je příslušná velikost impulsu PWM signálů odvozena z diskrétních hodnot odpovídajících velikosti 5 bitového čísla.

Pro generování signálů PWM bylo v programu využito přerušení od časovače. Po uplynutí definované doby dojde k přerušení a na výstupní piny se vyšle část PWM signálů.



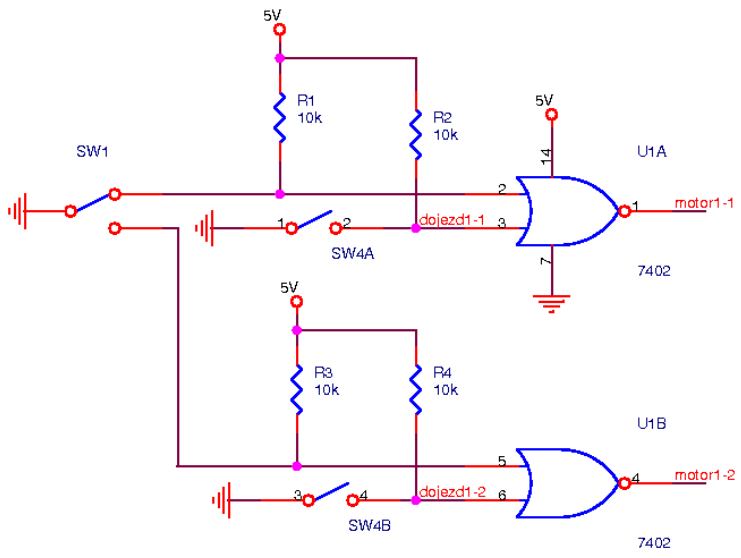
Obrázek 4.2: Řídicí část s mikrokontrolérem MC68HC908QY4

Příslušný kód v jazyce C je přiložen v příloze A. Díky možnostem programování lze zajistit lineární reakci na volbu rychlosti. Lze také posunout pásmo necitlivosti, tedy pásmo, kdy do motoru přicházejí řídící pulsy, ale jeho otáčivý moment je příliš malý a motor se neotáčí. Můžeme zajistit i postupný rozběh motoru, což je ale v našem případě nežádoucí, my vyžadujeme okamžitou odezvu na volbu rychlosti. Bohužel s okamžitou odezvou je spojen i mírný prokluz pásu.

Programování mikrokontroléru probíhalo s využitím vývojového kitu Janus. Tento kit byl vyvinut firmou Motorola a zprostředkovává programování FLASH paměti mikrokontrolérů QT a QY řady 68HC908. Pro programování slouží vývojové prostředí PeMicro nebo CodeWarrior. Více informací v [11].

4.1.2.2 Řízení posuvných dopravníků

Při řízení posuvných dopravníků stačí řídit jejich směr. Součástí posuvných dopravníků jsou také dojezdové spínače, které je nutné použít v obvodech řízení. V klidovém stavu, kdy dopravník čeká na krabičku, je vždy jeden z dvojice dojezdových spínačů sepnutý a druhý rozepnutý. V případě dojezdu posuvné části na spínač dojde k jeho rozpojení a přes pull-up rezistor je přivedena logická '1' (5V) na vstup hradla. Přepínačem je určován směr pohybu posuvných dopravníků. Je nutné zajistit, aby dojezdové spínače způsobily



Obrázek 4.3: Řídicí část s obvody 74HC02

zastavení dopravníku a aby nemohlo dojít k jeho opětovnému rozjezdu původním směrem. K tomuto řešení byly použity hradla NOR jež splňují přesně naše požadavky. Každé hradlo ovládá jeden směr pohybu a jsou do něj přivedené signály z dojezdového spínače a přepínače směru. Výstupy hradel jsou přivedené na vstup výkonové části (podkapitola 4.1.3).

Tabulka 4.2: Tabulka směrů v závislosti na vstupních signálech

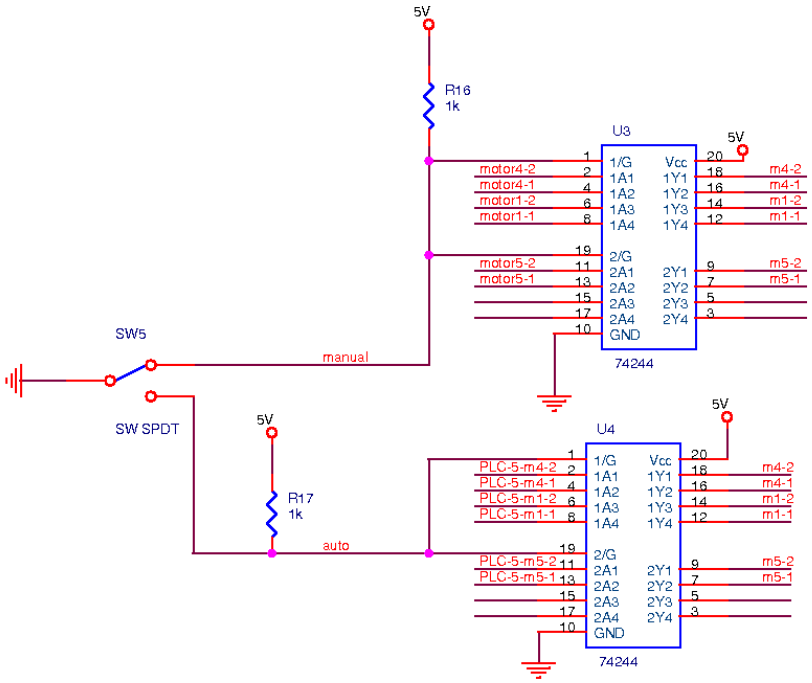
INP1	**INP2**	**Směry**
0	0	Motor stojí
0	1	Jeden směr
1	0	Druhý směr
1	1	Motor stojí

Z pravdivostní tabulky 4.3 lze vyčíst, že v případě rozepnutí dojezdového spínače (log. '1' na jednom ze vstupů hradla NOR) do vstupu příslušného výkonového stupně přichází logická '0'. Tudíž je blokován jeden směr. A jelikož nelze rozepnout oba dojezdové spínače téhož dopravníku, je zajištěna možnost pohybu dopravníku druhým směrem.

Tabulka 4.3: Pravdivostní tabulka logické funkce NOR

Přepínač směru	**Dojezdový spínač**	$\overline{\mathbf{X}+\mathbf{Y}}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

V případě řízení pomocí PLC musíme zajistit programově obdobnou reakci na sepnutí dojezdového spínače a volbu směru dopravníku. Dále je nutné v případě přepnutí na automatický režim vyřadit předchozí manuální blokování z činnosti. K tomuto účelu jsem využil třístavový budič 74HC244 [12]. Příchozí data z PLC a data o pohybu dopravníků z manuální části jsou přiváděna na vstupy budičů. Dle přivedeného signálu (log '0' nebo '1') na řídicí pin OE se data převedou na výstup nebo se výstup nastaví do vysoké impedance (tabulka 4.4). Zapojení budičů zajišťuje, že na vstupy výkonového stupně jsou přivedena pouze ta data, která přísluší automatickému či manuálnímu režimu.



Obrázek 4.4: Schéma zapojení třístavového budiče 74HC244

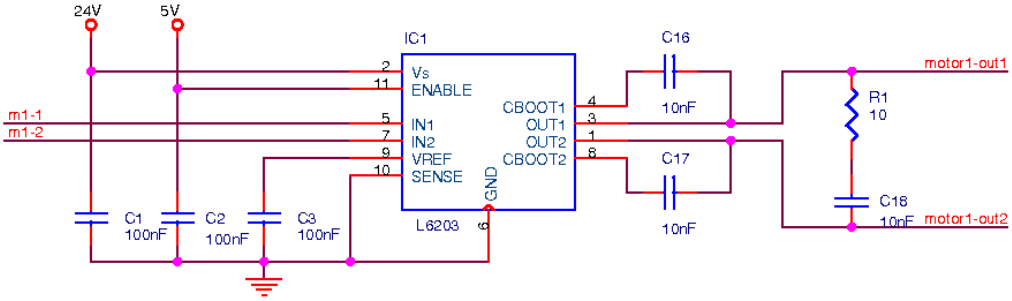
Tabulka 4.4: Funkční tabulka třístavového budiče

$\overline{\mathbf{OE}}$	**A**	**Y**
0	0	0
0	1	1
1	x	Z

4.1.3 Výkonová ovládací část

V případě výkonové části jsem změnil pouze rozložení součástek na desce plošného spoje, oproti původnímu řešení z bakalářské práce a tudíž jsem vytvořil novou desku plošných spojů.

Výkonová část pro řízení motorů se zapojením jednotlivých H můstků je uvedena ve schématu na obrázku 4.5. Vice v [8].



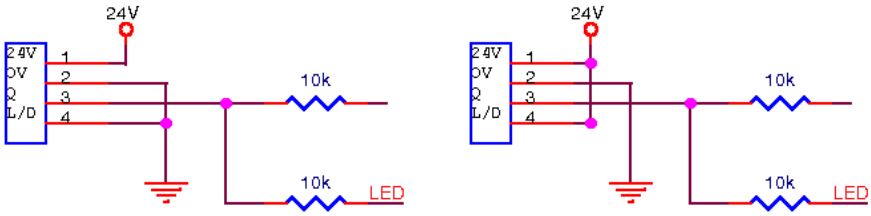
Obrázek 4.5: Výkonová ovládací část pro řízení motorů

4.1.4 Zpracování výstupu čidel a indikační část

V rámci této práce byly zpracovány výstupní signály z

- optických závor
  - na gravitačním zásobníku indikující přítomnost krabičky v zásobníku
  - na počátcích dopravníků indikující příchod krabičky na pás

Použité optické závory umožňují volbu dvou výstupních módů. Volba se provádí napětím na jednom řídicím vodiči. V případě nepřipojení řídicího vodiče nebo připojení na zem se v klidovém stavu na výstupu objeví 24 V – použito pro závoru na gravitačním zásobníku (signalizuje nepřítomnost krabiček – klidový stav). Naopak při připojení na napájecí napětí je v klidovém stavu na výstupu 0 V. Na obrázku 4.6 lze vidět způsoby zapojení použité v diplomové práci. Výstupní signál z optické závory je přiváděn do indikační části na ovládacím panelu a dále do PLC.



Obrázek 4.6: Způsoby zapojení optických závor

- dojezdových spínačů

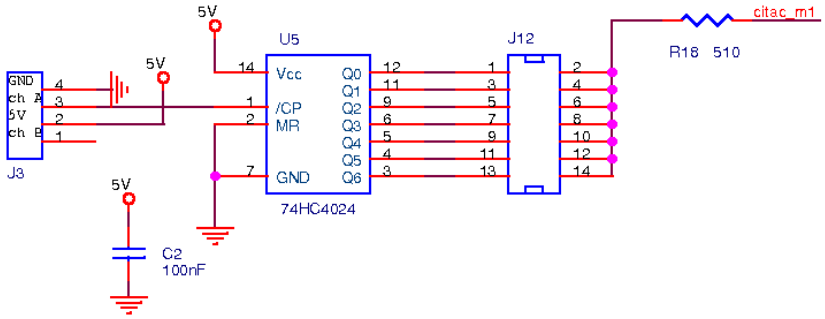
  Použití těchto spínačů bylo objasněno již v podkapitole Řízení posuvných dopravníků 4.1.2.2.

- inkrementálních snímačů otáček

  Signály z inkrementálních snímačů otáček jsou zpracovávány pouze při automatickém řízení pomocí PLC. Měříme pouze rychlost, protože směr zůstává stále stejný; stačí tedy zpracovávat signál pouze z jednoho kanálu inkrementálního snímače.

  Maximální otáčky použitých motorů Maxon jsou 4400 ot/min, což při 100 impulsech za otáčku znamená maximální frekvenci na jednom kanálu 7.3 kHz. PLC Omron dokáže zpracovat maximálně jeden signál o frekvenci 20 kHz, nebo s využitím přerušení čtyři signály do 2 kHz. Maximální výstupní frekvence inkrementálních snímačů je příliš vysoká, proto je nutné jejich signál dodatečně upravit. Ke snížení frekvence jsem použil sedmibitový čítač ve funkci děličky frekvence (schéma zapojení je na obrázku 4.7). Dělicí poměr je nutné vybrat takový, aby zmenšení frekvence nezpůsobilo přílišné zmenšení přesnosti měření. Z důvodu použití převodovky do pomala se

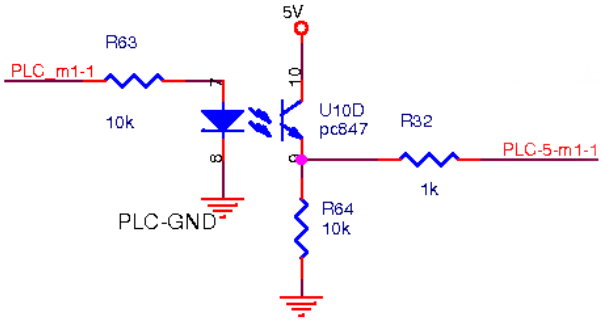
pásový dopravník zpomalí na cca 50 ot/min. Což znamená 8800 impulsů za otáčku po zpřevodování. Lze tedy zmenšit frekvenci 88 krát, abychom dostali stejnou frekvenci jako kdyby byl inkrementální snímač připojen až za převodovkou. Při tvorbě modelu jsem zmenšil frekvenci 128 krát – odpovídá sedmému bitu čítače. Důvodem bylo zpracovávání dat v PLC. Přesnost polohování se pohybuje okolo 2mm.



Obrázek 4.7: Schéma zapojení inkrementálních rotačních čidel

4.1.5 Komunikace s PLC

Pro přenos dat mezi PLC a elektronickou částí je nutné odchozí nebo příchozí data upravit. PLC zpracovává signály 0–24 V naopak elektronická část pracuje z rozsahem 0–5 V. Další důležitou vlastností je galvanické oddělení signálů. Ve skutečném provozu může dojít např. k naindukování vysokých napěťových špiček, což by mohlo poškodit elektronickou část. Ke galvanickému oddělení a zároveň úpravě rozsahů jsem použil optron PC847 [13]. Na obrázku 4.8 je uveden způsob zapojení pro přenos dat z PLC do elektronické části. V případě použití opačným směrem se jedná o lehce modifikované zapojení. Pro přenos dat do PLC pomocí optronu je důležitá vhodná volba odporu určující proud diodou. Proud musí být tak velký, aby se zajistila správná funkce optronu. Zároveň se nesmí překročit proudový odběr výstupních obvodů jednotlivých CMOS čipů, stejně jako proud jejich napájecími a zemnícími přívody. Výstupní proud elektronických obvodů CMOS je maximálně 20 mA, což představuje odpor větší než 250 Ω. Volil jsem odpor 510 Ω. Naopak pro připojení dat z PLC odpor snižuje protékající proud diodou a tím jí chrání před poškozením.



Obrázek 4.8: Převod dat z PLC na 5V pomocí optronu

Pro napájení galvanicky oddělené části připojené k PLC byl použit 24 V zdroj z PLC.

Obvody pro úpravu signálu jsou spolu indikační částí umístěny na desce plošného spoje řídicí části, viz. příloha B.2.

4.2 Vzájemné propojení elektronických obvodů, PLC a modelu

Propojení výkonové ovládací části s řídící částí je zprostředkováno jedním konektorem. Oba konce mají stejné popisy ve schématu zapojení, proto je zde nebudu uvádět. Ze schématu zapojení výkonové desky je patrné i propojení s jednotlivými motory.

Další propojení jednotlivých snímačů přímo z desky modelu je provedeno pomoci konektorů se zámkem. Pro ilustraci a přehlednost uvádím přímo obrázky jednotlivých konektorů.

Tabulka 4.5: Propojení PLC s elektronickou částí

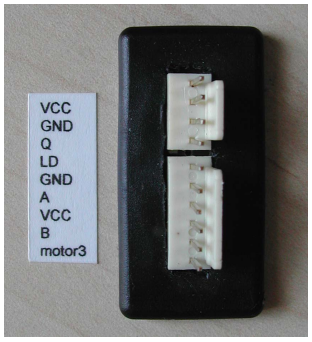
Název	deska plošného spoje	konektor CANNON	PLC
dojezd_1_1	konektor J16-1	14	0.00
dojezd_1_2	konektor J16-2	15	0.01
dojezd_4_1	konektor J16-3	16	0.02
dojezd_4_2	konektor J16-4	17	0.05
dojezd_5_1	konektor J16-5	18	0.06
dojezd_5_2	konektor J16-6	19	0.07
IRC1	konektor J16-7	20	0.03
IRC2	konektor J16-8	21	0.04
zavora_1	konektor J16-9	22	0.09
zavora_2	konektor J16-10	23	0.10
zavora_grav	konektor J16-11	24	0.11
auto	konektor J16-12	25	0.08
detekce_barvy	—	—	1.00
m1_1	konektor J2-1	1	11.00
m1_2	konektor J2-2	2	11.01
m4_1	konektor J2-3	3	11.02
m4_2	konektor J2-4	4	11.03
m5_1	konektor J2-5	5	11.04
m5_2	konektor J2-6	6	11.05
vm1	konektor J2-12	12	11.06
vm2	konektor J2-13	13	11.07
R1	konektor J2-7	7	12.00
R2	konektor J2-8	8	12.01
R3	konektor J2-9	9	12.02
R4	konektor J2-10	10	12.03
R5	konektor J2-11	11	12.04

Tabulka 4.6: Propojení řídící části s ostatními částmi modelu

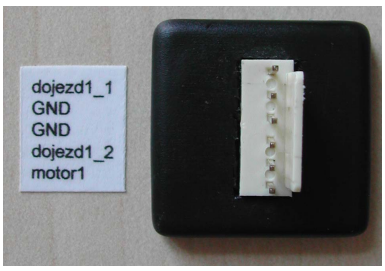
Označení konektoru – řídící část	
J1	výkonová ovládací část
J2	konektor CANNON
J3	inkrementální rotační snímač 1
J4	inkrementální rotační snímač 2
J5	optická závora – pásový dopravník 1
J6	optická závora – gravitační zásobník
J7	optická závora – pásový dopravník 2
J8	optická závora – led indikace
J9	optická závora – led indikace
J10	optická závora – led indikace
J11	24V z PLC
J12	jumper nastaven na 7. bit děličky
J13	jumper nastaven na 7. bit děličky
J14	5V
J15	24V
J16	konektor CANNON
R13	potenciometr na ovládacím panelu
R14	potenciometr na ovládacím panelu
R15	potenciometr na ovládacím panelu
SW1	přepínač směru na ovládacím panelu
SW2	přepínač směru na ovládacím panelu
SW3	přepínač směru na ovládacím panelu
SW4	dojezdové spínače
SW5	volba režimu na ovládacím panelu

Tabulka 4.7: Propojení dojezdových spínačů

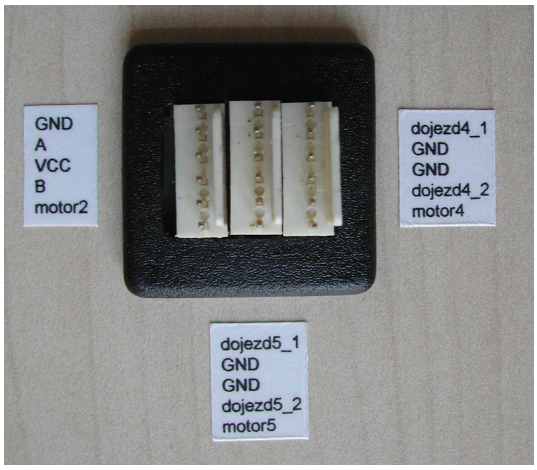
SW4	označení ve schématu zapojení
1	GND
2	dojezd1-1
3	GND
4	dojezd1-2
5	GND
6	dojezd4-1
7	GND
8	dojezd4-2
9	GND
10	dojezd5-1
11	GND
12	dojezd5-2



Obrázek 4.9: Označení pinů pro optickou závoru 2, IRC2 a motor 3



Obrázek 4.10: Označení pinů pro dojezdové spínače 1 a motor 1



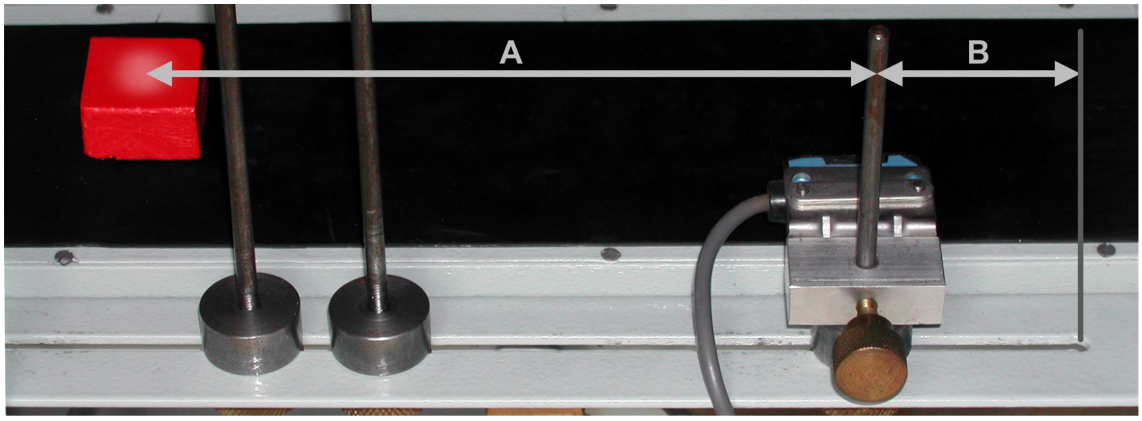
Obrázek 4.11: Označení pinů pro dojezdové spínače 4 a motor 4, dojezdové spínače 5 a motor 5, IRC1 a motor 2

Obrázek 4.12: Označení pinů pro optickou závoru 1 a optickou závoru na gravitačním zásobníku

4.3 Úpravy dopravníků

Při úpravě dopravníků jsem se zaměřil na zlepšení kvality zpracování. Během mé práce došlo opakovaně k různým poškozením na dopravnících. Ať už se to týkalo opotřebení dílů nebo nevhodného zpracování, vždy sem se snažil daný problém vyřešit tak, aby se tato porucha již neopakovala.

Byl navržen držák čidla barev a to tak, aby splňoval parametry pro použití čidla s určitou flexibilitou nastavení. Pro správnou funkci modelu je nutné dodržet přesné umístění čidla barev. Nejdůležitější jsou rozměry A=42 mm, B= 145-150 mm (obrázek 4.13), tyto rozměry zajistí správné načtení barvy. Předmět se umístí přímo pod led osvětlení a to tak, aby se kruh světla nacházel celý na předmětu. Zároveň je nutné zajistit příslušný sklon čidla.



Obrázek 4.13: Správné umístění čidla barev a optické závory

Kapitola 5

Popis řízení technologického procesu

5.1 Návrh řízení

Základním problémem při řízení tohoto typu modelu je synchronizace pohybu jednotlivých dopravníků, v našem případě zejména pásových dopravníků 1 a 2.

První problém při jejich synchronizaci je zajistit včasné umístění krabičky v naplňovacím místě P. Je zde několik možností řešení tohoto problému. Lze synchronizovat dopravník 1 s dopravníkem 2, který má konstantní rychlost. Toto řešení je v pořádku pokud je dodávání krabiček z gravitačního zásobníku dostatečně rychlé tak, aby nedocházelo k tomu, že v době pádu předmětu krabička nebude na místě P. Dále, pokud bude dopravník 1 čekat na dodání předmětu do krabičky, je nutné zpomalit až pozastavit dodávání krabiček z gravitačního zásobníku, jinak dojde ke kumulování krabiček na dopravníku.

Vhodnější možností je ponechat konstantní rychlost dopravníku 1 a měnit rychlost dopravníku 2. Opět nastává podobný problém, ale v tomto případě jsou nároky na správné dodávky předmětů na obsluze.

Výše uvedené možnosti se zdají nepříliš vhodné, neboť je zatěžovaná obsluha něčím, co může zajistit systém řízení sám. Rozhodnutí o dodání předmětu na pás by mělo být jen na obsluze a nemělo by být ničím podmíněno, stejně jako požadavek, aby krabička byla opravdu na místě P v době pádu předmětu. Jelikož rychlost dodávání krabiček je omezena, nelze dodání předmětu vždy precizně zaručit. Tyto možnosti proto hodnotím z pohledu řešení jako nezajímavé.

Kombinací obou variant docílíme ideálního řešení. Navržená synchronizace se provádí na základě polohy jak předmětu tak krabičky. Reguluje se rychlost obou dopravníků. Předměty mohou být obsluhou dodávány kdykoliv. V případě nedostupnosti krabičky na místě pádu P se dopravník 2 zpomalí až zastaví a čeká na krabičku, naopak dopravník 1 zrychlí na maximum, aby nedošlo k velkému prodlení. Je-li krabička již dostupná, ale předmět není přítomen, dojde ke zpomalení až zastavení dopravníku 1 a ke zrychlení dopravníku 2.

5.2 Omezení řízení

V předchozích úvahách jsme zatím nebrali na zřetel množství omezujících vlivů daných stavbou modelu, které podstatně ztěžují řízení.

- Rychlost přísunu krabiček na dopravník 1
  Přísun krabiček je omezen rychlostí posuvného dopravníku.

- Přesun na rozdělovací dopravník
  Může nastat stav, kdy jedna krabička bude na konci dopravníku, tedy před přesunem na rozdělovací dopravník, což znamená nutnost udržet rychlost pro přesun. Ale druhá krabička bude čekat na předmět, měla by se tedy rychlost dopravníku zpomalovat a v místě P i zastavit.

- Počet krabiček na dopravníku
  S předchozím bodem je spojen i počet krabiček na dopravníku. Krabičky by měly být od sebe dostatečně vzdáleny, aby se mohly v pořádku přesunout na rozdělovací dopravník. Tento stav může nastat při pomalém pohybu dopravníku.

- Vliv čekací doby před rozdělovacím dopravníkem
  Je nutné vyčkat až rozdělovací dopravník bude připraven přijmout další krabičku. Tato doba není nikterak zanedbatelná.

- Vliv čekací doby při snímání barvy předmětu

  Tato doba je mnohem menší nežli doba před rozdělovacím dopravníkem. Dojde vždy ke krátkému zastavení dopravníku, aby mohla být zvolena odpovídající barva.

- Počet předmětů na dopravníku

  Je nutné, aby optická závora na dopravníku 2 detekovala vždy jen jeden předmět. Což při malých vzdálenostech mezi předměty nelze vždy zajistit.

- Zpožděná reakce na volbu rychlosti

  K tomuto jevu dochází při současně změně rychlosti dvou dopravníků.

Pokud vezmeme v úvahu tyto omezení nastane redukce ideálního řešení z předchozí podkapitoly.

5.3 PLC program

Program pro PLC byl psán pomocí demo varianty programu CX-ONE [14]. Pro toto PLC program nepodporuje tvorbu vlastních funkčních bloků. Tato v dnešní době samozřejmost podstatně stěžuje přehlednost a pracnost programování. Lze ale využít jiných prvků nahrazujících tento nedostatek, subroutiny, odskoky atd.

5.3.1 Inicializace

Po prvním spuštění dojde k nastavení parametrů pro přerušení. Dále se smažou pomocné proměnné použité v modelu. Po přepnutí do automatického módu je nutné, aby se model nacházel v definovaném stavu. Na pásových dopravnících se nesmí nacházet žádná krabička ani předmět. Posuvné dopravníky musí být v krajní poloze.

5.3.2 Volba rychlosti

Vzhledem k absenci funkčních bloků jsem pro nastavování rychlostí jednotlivých dopravníků vytvořil blok kódu na konci programu. Rychlosti se v průběhu cyklu nastavuje do třech paměťových míst. Lze ji volit z rozsahu 0-31, což odpovídá binárnímu číslu 00000 až 11111. Dále by bylo nežádoucí, aby PLC posílalo data o rychlosti v době, kdy nedošlo k žádné její změně. Porovnávám tedy aktuální rychlost s požadovanou a na výstupy ji přenáším pouze v případě, že se liší. Přenos rychlosti musí probíhat určitou dobu (70ms), kdy se výstupní relé ustaluje. Během nastavování jedné rychlosti musí čekat ostatní. Což při přenosu rychlosti pro dva a více dopravníků způsobí zpoždění, které bylo zohledněno v hlavního algoritmu.

5.3.3 Pohyby posuvných dopravníků

Pohyb posuvných dopravníků je ovládán vždy dvěma bity. Zároveň je nutné zajistit reakci na dojezd. K tomuto účelu lze ideálně použít funkční blok KEEP, který jedním vstupem nastavuje bit (SET) a druhým ho shazuje (RESET).

5.3.4 Rutiny přerušení

Po nastavení přerušení v inicializační části je nutné vytvořit příslušnou subroutinu a nastavit její parametry pro daný vstup. V rutině se nachází pouze čítač.

5.3.5 Přesuny krabiček

Krabičky jsou přesouvány z gravitačního zásobníku. V případě, že předchozí krabička čeká na předmět nebo se pohybuje k roztřídění, další krabička se ze zásobníku na pás nepřesouvá. V opačném případě se nastaví rychlost pásového dopravníku na maximální a přesune se na něj krabička. Krabička při přesunu klouže po pásu. Z tohoto důvodu její detekce probíhá se spádovou hranou optické závory, kdy lze z jistotou říci, že již nezmění svojí polohu. Následně dojde k resetu čítače. Krabička se pohybuje až do místa P kde

se, když není předmět připraven, zastaví. Po naplnění pokračuje dál k rozdělovacímu dopravníku. Nyní je nutné brát v úvahu čas potřebný k rozdělení. Krabička započala pohyb pro roztřídění, je tedy možné na pás poslat další krabičku. Jedna z variant byla nechat krabičku čekat přímo před rozdělovacím dopravníkem. Tím, že čeká v gravitačním zásobníku neztratíme žádný čas, ale zjednodušíme příslušný algoritmus.

Potřebné vzdálenosti získáme jednoduchým porovnáním čítače s předem definovanou délkou. Přerušení způsobuje nepřesnost vzdálenosti, za cyklus se hodnota čítače změní až o 5 tiků. Nelze tedy přímo srovnávat, ale je nutné určit rozmezí, ve kterém se má hodnota čítače pohybovat.

5.3.6 Přesuny předmětů

Po zaznamenání krabiček v gravitačním zásobníku dojde k pohybu pásového dopravníku 2. Program čeká na předmět. Po spádové hraně optické závory 2 je zaznamenán předmět a nastaví se rychlost pásu. Ta se odvíjí od polohy krabičky, lépe řečeno od vzdálenosti do místa pádu P. V případě, že krabička je na posuvném dopravníku 1, nelze přesně určit v jaké fázi pohybu se nachází a tudíž ani, kdy dorazí na pás. Proto volím rychlost takovou, jako kdyby se nacházela před započetím pohybu posuvného dopravníku. Se spádovou hranou závory 1 mám dostupnou informaci o přesné poloze krabičky. Dojde k přenastavení rychlosti a to dle poměru vzdálenosti krabičky a předmětu.

$$\textit{rychlost dopravníku } 2 = \textit{rychlost dopravníku } 1 \cdot \frac{\textit{vzdálenost předmětu k místu } P}{\textit{vzdálenost krabičky k místu } P}$$

Maximální rychlost samozřejmě nelze překročit. Když bude krabička blíže, dojde ke zrychlení předmětu – maximální rychlost. Pokud bude blíže předmět, dojde k nastavení odpovídající rychlosti, aby se krabička a předmět setkaly v místě P. Tento jednoduchý systém selhává z důvodu prodlení volby rychlosti, délky cyklu, zaokrouhlení atd. Dopravník za 50 ms urazí 5–10 mm. Prodlevu volby rychlosti lze korigovat, popř upravit vzorec. Délku cyklu bohužel již nelze ovlivnit, nelze totiž přesně říci, v jaké části se program nachází při příchodu spádové hrany optické závory. Může zbývat celý jeden cyklus, nebo jen

několik instrukcí do výpočtu rychlosti. Největším problémem je ale zaokrouhlování rychlosti na diskrétní hodnoty. Výpočet rychlosti periodicky opakuji a tím zmenšuji konečné prodlení v místě P.

5.3.6.1 Řešení několika předmětů na dopravníku

V případě krabičky je zpoždění jednotlivých prvků cesty natolik vysoké, že krabička bude vždy jen jedna na dopravníku. Naopak od pásového dopravníku 2 se očekává, že bude schopen pojmout co nejvíce barevných předmětů. Po spádové hraně optické závory 2 se zaznamená aktuální stav příslušného čítače. K tomuto stavu se přičte hodnota odpovídající délce dopravníku. Pak uložené číslo odpovídá hodnotě čítače kdy bude předmět na konci dopravníku. V případě přetečení čítače (dekadicky 9999) nedochází k výpočetnímu problému, jelikož při následného výpočtu vzdálenosti k místu P počítáme pouze rozdíl.

Pro ilustraci uvedu příklad. Předmět přeruší závoru, na čítači je 9880.

$$9880 + \textit{délka pásu}\ (300) = 0180$$

Pro následný výpočet vzdálenosti.

$$0180 - \textit{aktuální stav čítače}\ (\textit{např.}\ 9980) = 200$$

Této skutečnosti se dá s výhodou využít, není nutné resetovat čítač. Tento systém jsem nepoužil pro pásový dopravník 1, kde bylo výhodnější čítač naopak resetovat, jelikož tím odpadl jeden výpočet a uspořil se čas cyklu.

V okamžiku příchodu dalšího předmětu uložím hodnotu čítače na následující paměťové místo (DM200 ⇒ DM201) tak, aby zůstala zachována předchozí hodnota. K tomuto účelu jsem použil ukazatel, který v případě příchodu předmětů inkrementuji. Teoreticky mohu přijmout tolik předmětů kolik je volné paměti v PLC.

Předmět se dostane do místa pádu. Informuji pásový dopravník 1 o naplnění. V tuto chvíli musí pozornost přejít k následujícímu předmětu. Posunu tedy paměťová místa o jednu pozici tak, aby na první pozici byl následující předmět. K tomuto účelu jsem

využil funkci ASFT – pokud se v rozsahu paměťových míst nachází na některé pozici nula, je propagována na konec těchto paměťových míst. V případě pádu předmětu vynuluji první pozici a aplikuji tuto funkci na paměťový blok až do místa, kam ukazuje ukazatel. Ve chvíli, kdy se nula objeví na paměťovém místě příslušící ukazateli dojde k dekrementaci ukazatele. Seznam se vzdálenostmi předmětů se tim zkrátil o jeden předmět. Při použití této funkce nesmí dojit k tomu, aby se ukládaná hodnota (hodnota čítače + délka pásu) rovnala nule. Proto v případě, že tomu tak je přičtu jedničku k ukládané hodnotě.

5.3.6.2 Detekce barvy

Během přesunu předmětu dochází k detekci barvy. V této práci se třídí pouze dvě barvy. Můžeme detekovat jednu barvu a v případě, že se předmět nerovná této barvě, musí to být zákonitě barva druhá. Nebo lze také vybírat jednu zvolenou barvu z ostatních. Detekce pouze jediné barvy má výhodu v tom, že nemusíme čekat na poslání řídicích signálu do čidla, čili není nutné zastavovat pás.

Barvy se ukládají pro všechny předměty na pásu. Bylo tedy nutné vytvořit datové slovo, kde by každý bit znamenal barvu předmětu – log. '1' – barva předmětu je shodná s nastavenou ve snímači. S tím, že na první pozici by byl předmět nejblíže k roztřídění. K detekci barvy dochází v určité vzdálenosti od optické závory. Pokud se předmět nachází v této vzdálenosti snímám vstup od snímače barev a dle toho zapisují do datového slova. V případě rovnosti provádím OR operaci s maskou, která určuje kolikátý je snímán předmět (log. '1' na příslušné pozici). Po sejmutí barvy posunu masku o 1 bit doleva a sleduji polohu následující krabičky.

Příklad masky a datového slova.

Maska	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Datové slovo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0

Maska – následující předmět bude šestý v pořadí. Datové slovo – první a třetí předmět na pásu má jednu barvu; druhý, čtvrtý a pátý předmět má druhou barvu.

Po roztřídění předmětu posouvám jak masku tak datové slovo o 1 bit doprava. Zde

již nastává jisté omezení dané délkou slova. Barvu lze uložit pouze pro 16 předmětů, což je v závislosti na délce pásu zcela dostačující.

5.4 Testování, problémy

Každá funkce byla testována samostatně, pokud to bylo možné. Tím se nemohly promítat poruchy z jiných částí kódu. Následně byly jednotlivé funkce testovány dohromady. Při testování jsem se zaměřil nejen na funkčnost, ale i na efektivitu. Ne vždy byl složitější algoritmus efektivnější než jednodušší. Jednalo se v tomto případě pouze o úsporu času, tedy o roztřídění co nejvíce předmětů.

Při testování došlo k několika chybám přímo v PLC, nerozepnutí relé, nesprávné načtení vstupu. Snažil jsem se najít sled událostí, které těmto chybám předcházely a pokusit se, aby k tomuto sledu nedošlo. Chyby byly bohužel náhodného charakteru. Problém nerozepnutí relé se opakoval několikrát, i když v programu CX-ONE se jevilo rozepnuté a i dle algoritmu rozepnuté být mělo. Ve skutečném provozu by k takto zásadnímu problému nemělo dojít a vedlo by to k výměně PLC. Ke školním účelům a k přihlédnutí k frekvenci této chyby není potřeba tento problém řešit.

Další problémy nastaly při snímání předmětů optickou závorou. Závora některé barevné předměty nezaznamenává. Předmět modré barvy nezaznamenala téměř nikdy, proto byly tyto předměty z modelu vyloučeny.

Kapitola 6

Závěr

V rámci diplomové práce jsem navrhl elektroniku pro ovládání modelu technologického procesu – třídicí linky. Fyzický model s manuálním řízením jsem upravil a navrhl jsem algoritmus řízení pomocí PLC OMRON–60CD_R.

Získal jsem značné zkušenosti s inkrementálními čidly i s celou problematikou jejich zpracování v PLC, resp. s používáním přerušení. Díky tomu, že jsem model vytvářel sám od jeho prvopočátků, mohl jsem si volit volbou umístění jednotlivých čidel charakter procesu. Pro daný model jsem navrhl co nejefektivnější algoritmus třídění, mírou efektivity byl počet roztříděných krabiček. Největším problémem bylo samotné PLC Omron a rychlost procesu. Časové konstanty modelu jsou velmi nevyvážené, na jedné straně jsou velké čekací doby při přesunech krabiček na posuvných dopravnících, a na straně druhé požadavky na rychlé reakce např. na volbu rychlosti.

Pokud srovnáváme manuální a automatické řízení, lze největší rozdíl pozorovat v počátcích procesu, ve chvílích, kdy na pásovém dopravníku není mnoho předmětů. V okamžiku, kdy počet předmětu přesáhne určitou mez, řídicí algoritmus se změní v jednoduchý On-Off. Což se dalo v závislosti na daných omezeních předem očekávat.

Literatura

[1] PLC OMRON–60CD_R - Operation Manual. [online], Poslední revize 2008-22-1 [cit. 2009-21-5]. http://www.omron.com.

[2] PLC OMRON–60CD_R - Programmable Manual. [online], Poslední revize 2008-22-1 [cit. 2009-21-5]. http://www.omron.com.

[3] WT150 P132 - photoelectric proximity switch. [online], Poslední revize 2008-22-1 [cit. 2009-21-5]. http://www.sick.com.

[4] Enc 22 - digital-encoder. [online], Poslední revize 2008-22-1 [cit. 2009-21-5]. http://www.maxonmotor.com.

[5] A-max 22 - DC motor. [online], Poslední revize 2008-22-1 [cit. 2009-21-5]. http://www.maxonmotor.com.

[6] E3MC-A41 - RGB Color Sensor. [online], Poslední revize 2008-22-1 [cit. 2009-21-5]. http://www.omron.com.

[7] R. Lischka. *Řízení modelu technologického procesu s využitím PLC.* Bakalářská práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2008.

[8] O. Tepřík. *Model technologického procesu.* Bakalářská práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 2006.

[9] O. Vysoký. *Elektronické systémy II.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002.

[10] Freescale MC68HC908QY4 - microcontroller. [online], Poslední revize 2008-22-1 [cit. 2009-21-5]. http://www.freescale.com.

[11] Procesory Motorola řady 68HC908. [online], Poslední revize 2009-22-2 [cit. 2009-21-5]. `http://measure.feld.cvut.cz/groups/micro/HC08/hc08.html`.

[12] 74HC244 - octal 3-state buffer/line driver/line receiver. [online], Poslední revize 2008-25-1 [cit. 2009-21-5]. `http://www.nxp.com`.

[13] PC847 - high density mounting type photocoupler. [online], Poslední revize 2008-25-1 [cit. 2009-21-5]. `http://www.sharp-world.com`.

[14] Omron Smart Platform. [online], Poslední revize 2008-25-1 [cit. 2009-21-5]. `http://smartplatform.info/`.

Příloha A

Kód

A.1 Pro mikrokontrolér MC68HC908QY4

```
#include <hidef.h> /* EnableInterrupts macro */
#include <MC68HC908QY4.h>
// jezdci potenciometru jsou pripojeny na jednotlive kanaly
// AD prevodniku PTA0, PTA1, PTA4
#define pwm1 PTB_PTB0 //definovani vystupu PWM
#define pwm2 PTB_PTB1
#define pwm3 PTB_PTB2
#define manual PTA_PTA5
unsigned char rychlosti[] = {0,0,0};
void main(void) {
    unsigned char kanal=0;
    unsigned char rychlost=0;
    unsigned char kanal_auto=0;
    unsigned char i=0;
    unsigned char manual_old=0;
    TSC_TSTOP=1;//TIMER
    TSC_TRST=1;
    TSC_PS2=1;//prescaler 64x
```

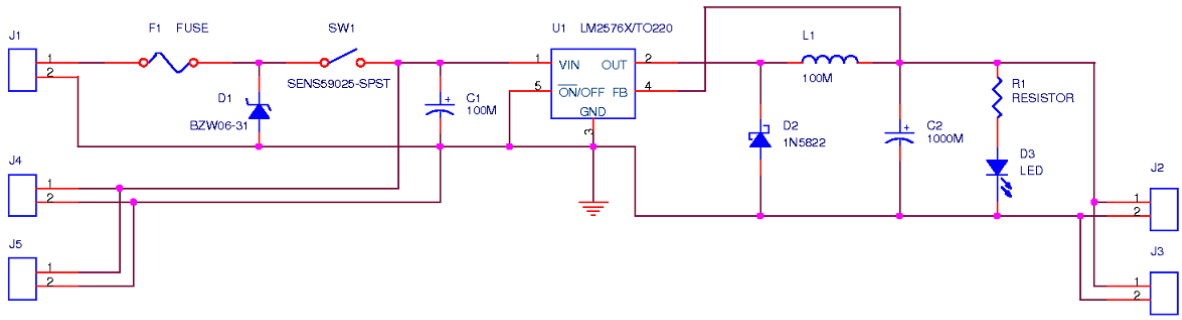
```
TSC_PS1=1;
TSC_PS0=0;
TSC_TOIE=1;//povoleni preruseni
TSC_TSTOP=0;
TMOD=0x0001;//nastaveni casovace
ADICLK=0x80;//AD prevodnik
DDRB=0x07;  // 3 piny B vystup 5 vstup
EnableInterrupts;
for(;;){
__RESET_WATCHDOG();
if (manual && !manual_old)  //po prepnuti na auto zastav vsechny dopravniky
  {
   rychlosti[0] = 0;
   rychlosti[1] = 0;
   rychlosti[2] = 0;
  }
manual_old=manual;
  if (manual)
  {
      while(i<100) // cekani na ustaleni rele
    {
      if ((rychlost== (PTB&0x0F8)>>1)&& (kanal_auto== (PTA&0x0C)>>2))
       i++;
      else {
       i=0;
       rychlost= (PTB&0x0F8)>>1; //rychlost z PLC
       kanal_auto= (PTA&0x0C)>>2;    // volba motoru
      }
    }
    i=0;
```

```
    if (kanal_auto !=0) {
      rychlosti[kanal_auto-1]=rychlost;
    }
  }
  else {
   char hodnota = 0;
   ADSCR=kanal&0x03;//nastaveni kanalu
   while(ADSCR_COCO == 0){};//cekani na prevod
   hodnota = ADR;
   if(hodnota>252) rychlosti[kanal]=124;//saturace
   else if(hodnota<15) rychlosti[kanal]=0;//stop
   else rychlosti[kanal] = hodnota/2;
   kanal++;if(kanal==3)kanal=0;//dalsi kanal ADC
  }
}
}
interrupt 6 void timOverflow(void){
    static char pwm_cnt = 0;
    TSC_TOF=0;
    if(pwm_cnt<rychlosti[0])pwm1=1; else pwm1=0;
    if(pwm_cnt<rychlosti[1])pwm2=1; else pwm2=0;
    if(pwm_cnt<rychlosti[2])pwm3=1; else pwm3=0;
    pwm_cnt++;
    if(pwm_cnt==124){
        pwm_cnt=0;
    }
}
```

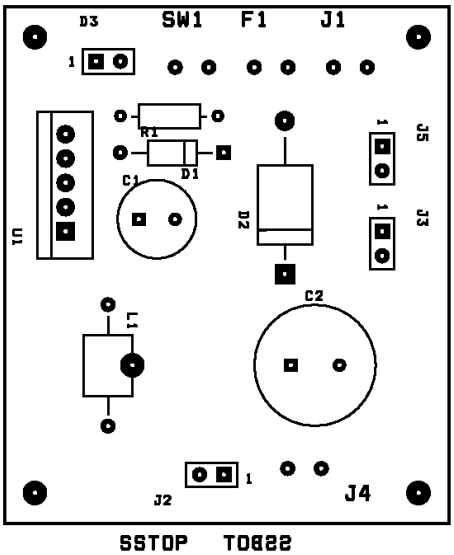
Příloha B

Plošné spoje

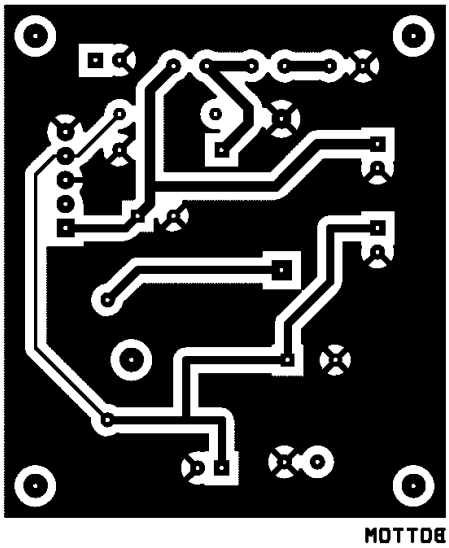
B.1 Napájecí zdroj



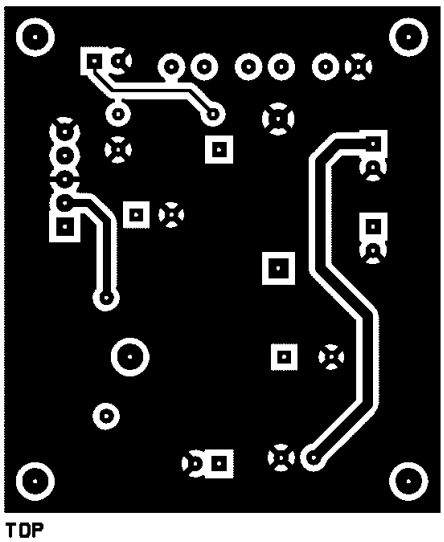
Obrázek B.1: Napájecí zdroj řešený pomocí obvodu LM2576



Obrázek B.2: Deska plošného spoje - napájecí zdroj - osazení součástek



Obrázek B.3: Deska plošného spoje - napájecí zdroj - strana spojů

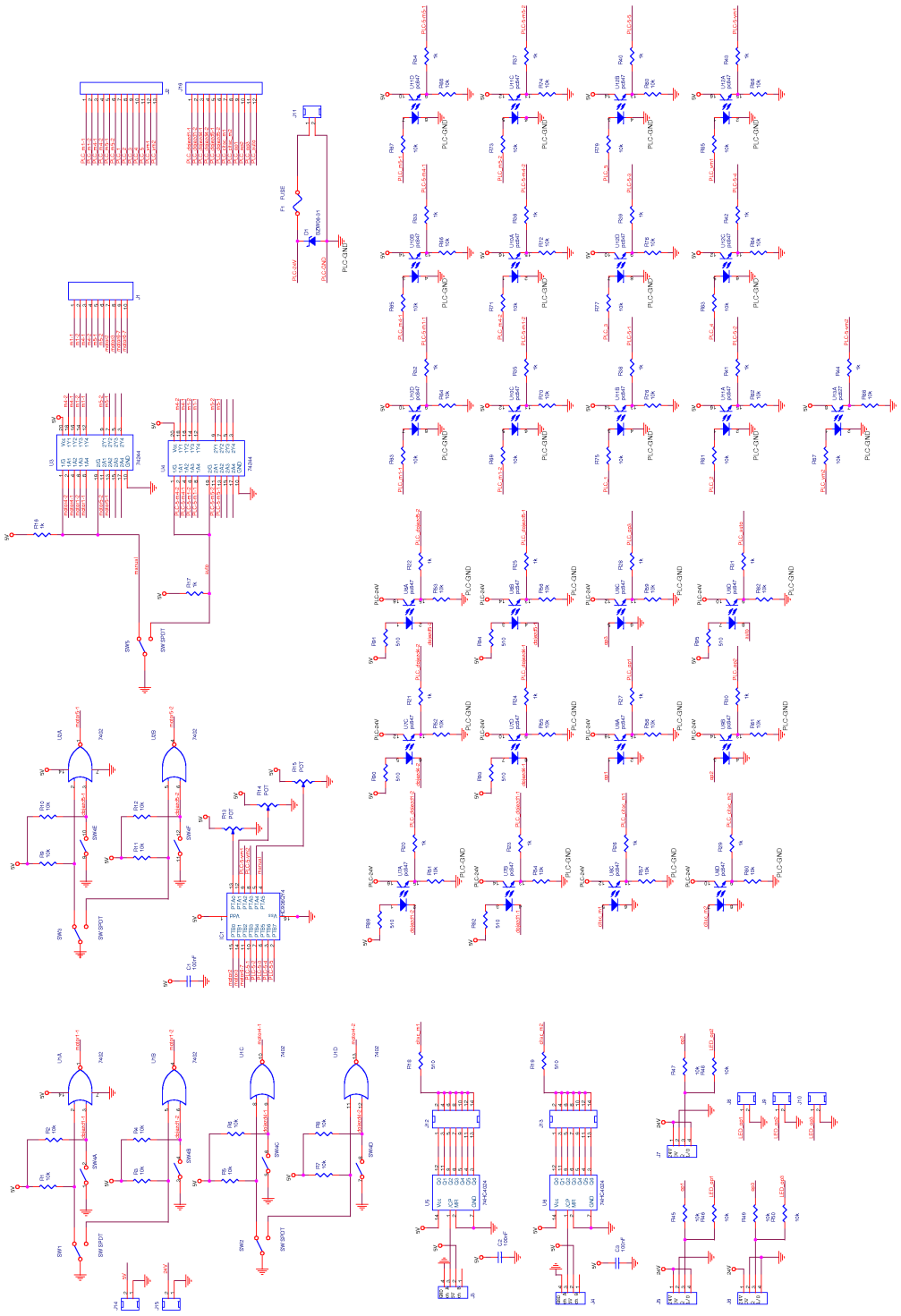


Obrázek B.4: Deska plošného spoje - napájecí zdroj - strana součástek

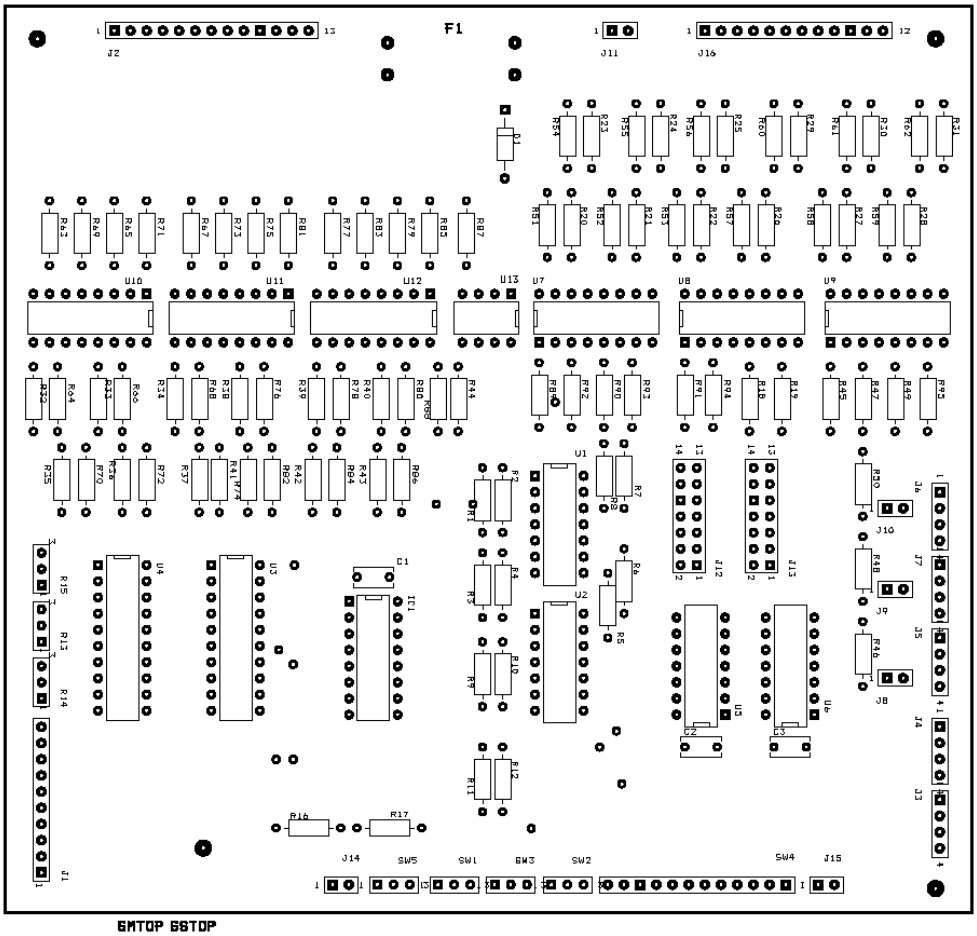
Tabulka B.1: Seznam použitých součástek pro napájecí zdroj

Položka	**Počet**	**Reference**	**Hodnota**
1	1	U1	LM2576T-5
2	1	C1	E 100M/50VI
3	1	C2	E 1000M/25VI
4	1	L1	DPU 100A3
5	1	D1	BZW06-31
6	1	D2	1N5822
7	1	D3	D155
8	1	F1	FSF06.3
9	1	SW1	P-KNX1
10	1	R1	RR 2k
11	3	J2,J3,J5	Konektor se zámkem PSH02-02P
12	2	J1,J4	Svorkovnice ARK550/2

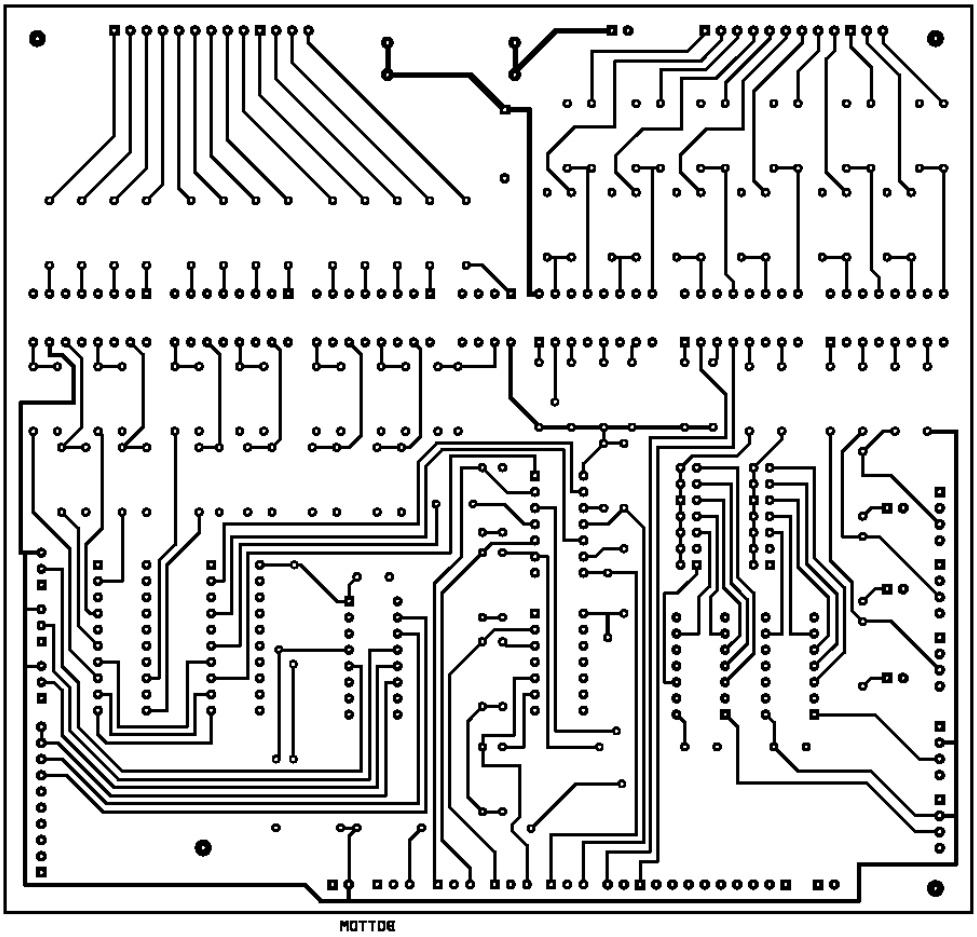
B.2 Řídicí část



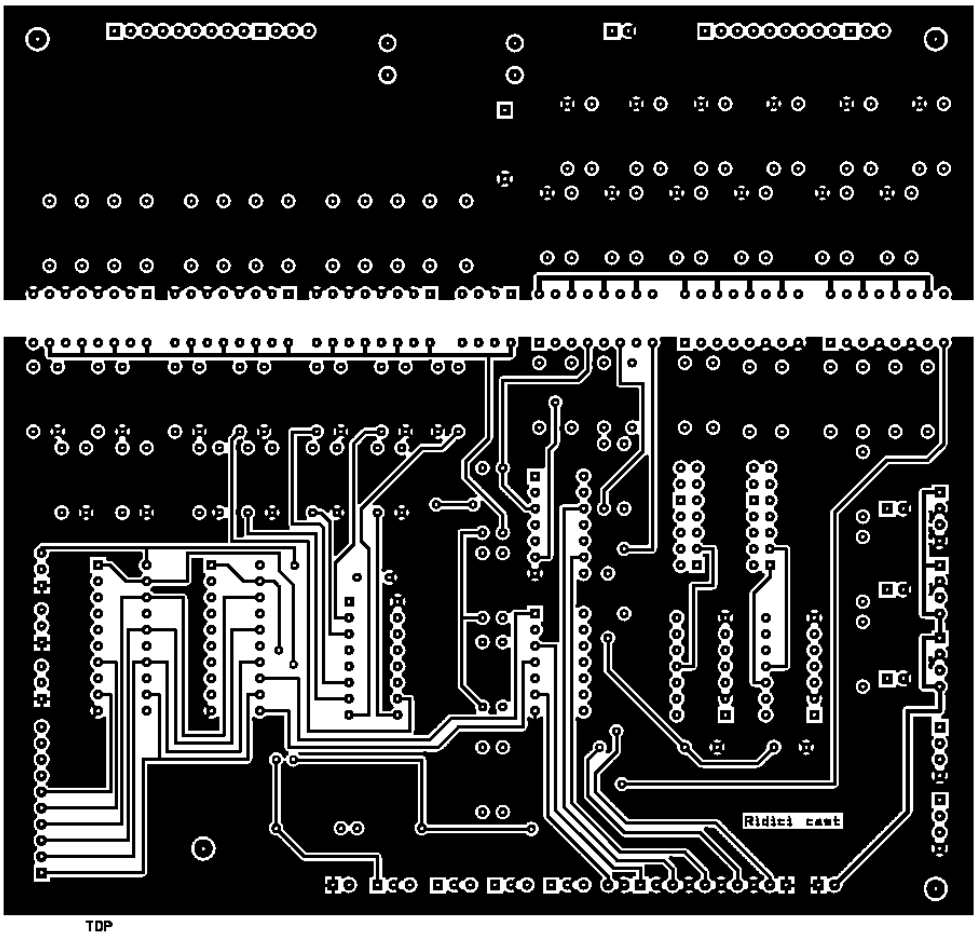
Obrázek B.5: Řídicí část



Obrázek B.6: Deska plošného spoje - řídicí část - osazení součástek



Obrázek B.7: Deska plošného spoje - řídicí část - strana spojů

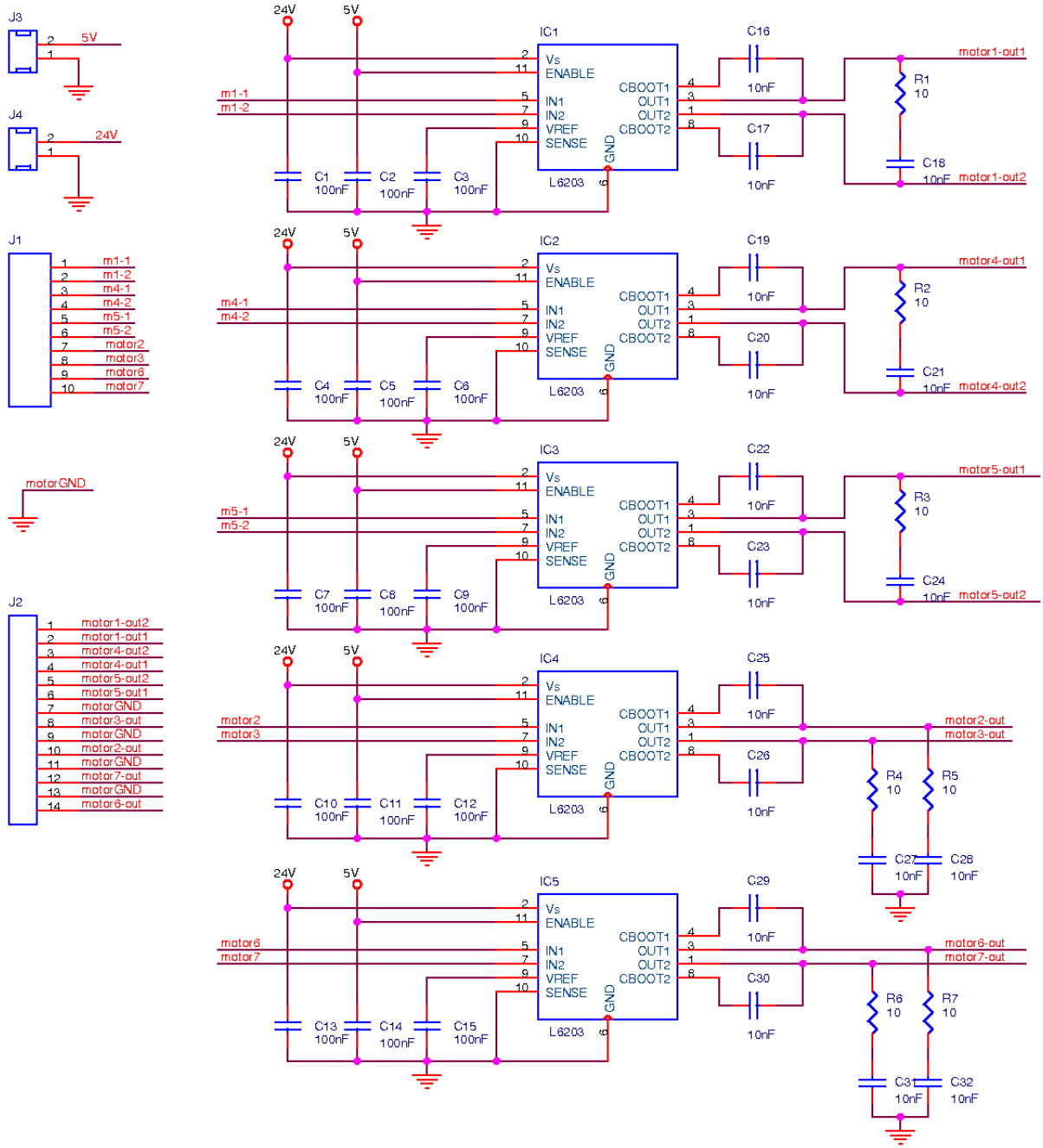


Obrázek B.8: Deska plošného spoje - řídicí část - strana součástek

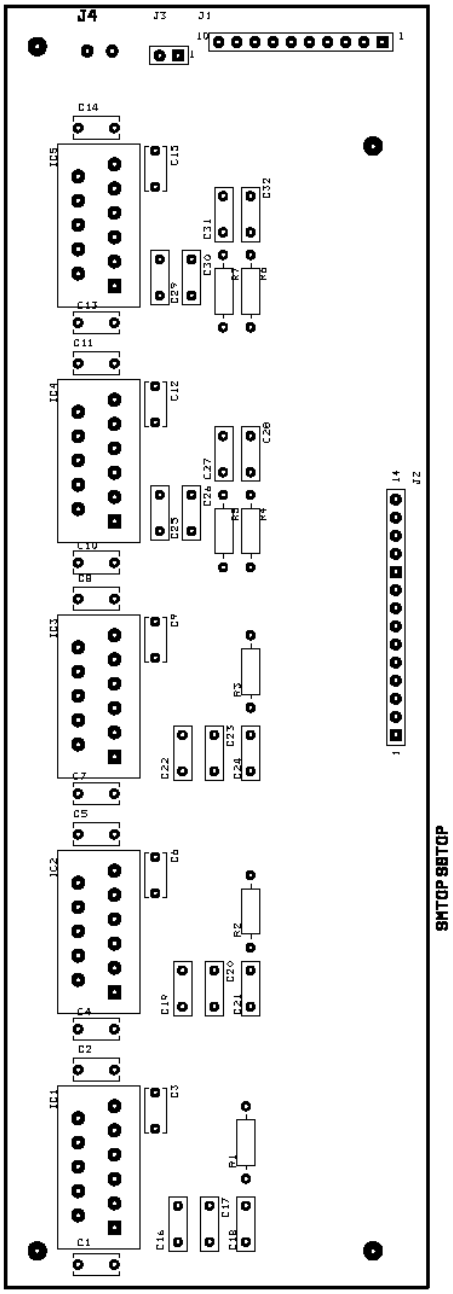
Tabulka B.2: Seznam použitých součástek pro řídicí část

Položka	**Počet**	**Reference**	**Hodnota**
1	56	R1–R12,R45-R88	RR 10k
2	9	R18,R19,R89–R95	RR 510
3	27	R16,R17,R20-R44	RR 1k
4	3	R13,R14,R15	MLK010
5	4	SW1,SW2,SW3,SW5	P-KNX3
6	2	U1,U2	74HC02
7	2	U3,U4	74HC244
8	2	U5,U6	74HC4024
9	6	U7,U8,U9,U10,U11,U12	pc847
10	1	U13	pc827
11	1	IC1	MC68HC908QY4
12	3	C1,C2,C3	CK 100N/63V
13	1	D1	BZW06-31
14	1	F1	FSF06.3
15	6	J8,J9,J10,J11,J14,J15	Konektor se zámkem PSH02-02P
16	2	J12,J13	Konektorové kolíky lámací S2G10
17	1	J16	Konektor se zámkem PSH02-12P
18	5	J3,J4,J5,J6,J7	Konektor se zámkem PSH02-04P
19	1	J1	Konektor se zámkem PSH02-10P
20	1	J2	Konektor se zámkem PSH02-13P

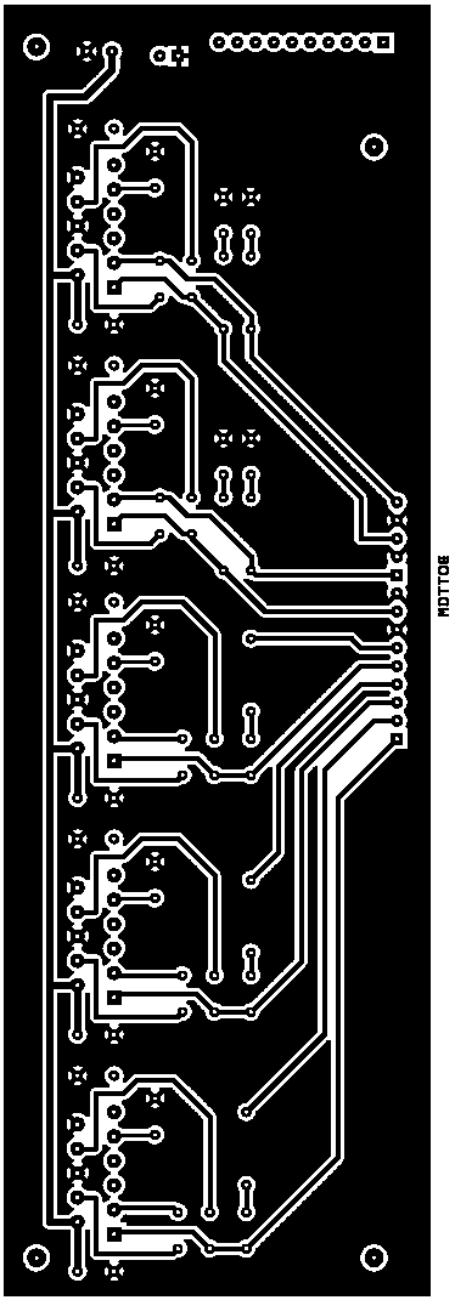
B.3 Výkonová ovládací část



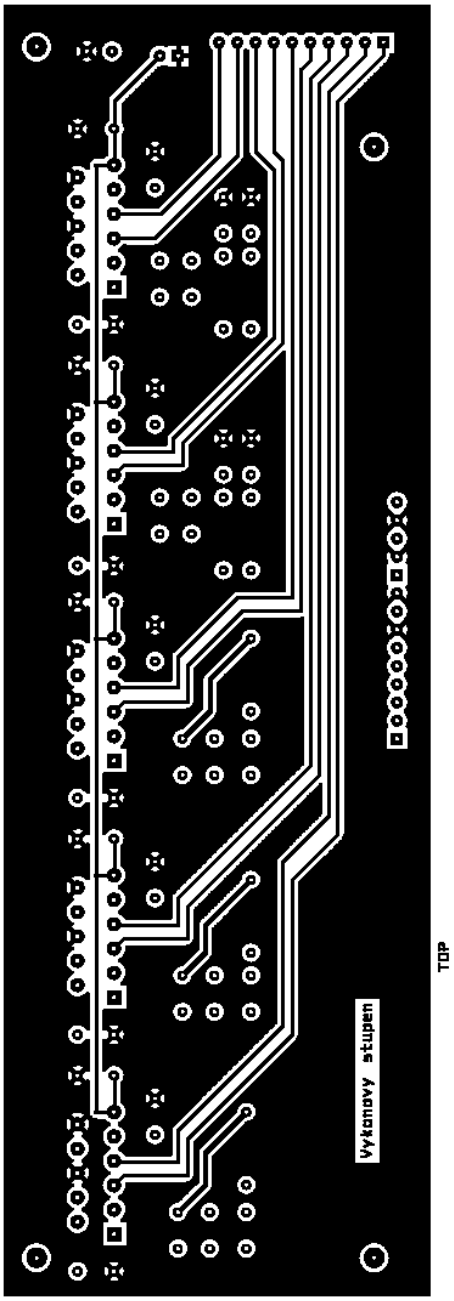
Obrázek B.9: Výkonová ovládací část pro řízení motorů



Obrázek B.10: Deska plošného spoje - výkonová ovládací část - osazení součástek



Obrázek B.11: Deska plošného spoje - výkonová ovládací část - strana spojů



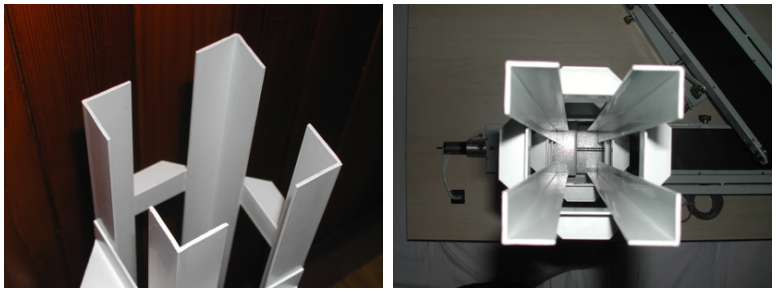
Obrázek B.12: Deska plošného spoje - výkonová ovládací část - strana součástek

Tabulka B.3: Seznam použitých součástek pro výkonovou ovládací část

Položka	**Počet**	**Reference**	**Hodnota**
1	7	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7	RR 10R
2	10	C16,C17,C19,C20,C22,C23, C25,C26,C29,C30	CF2-10N/J
3	7	C18,C21,C24,C27,C28,C31,C32	CK10N/63V
4	15	C1–C15	CK 100N/63V
5	5	IC1, IC2, IC2, IC3, IC4, IC5	L6203
6	1	J3	Konektor se zámkem PSH02-02P
7	1	J4	Svorkovnice ARK550/2
8	1	J1	Konektor se zámkem PSH02-10P
9	1	J2	Konektor se zámkem PSH02-14P

Příloha C

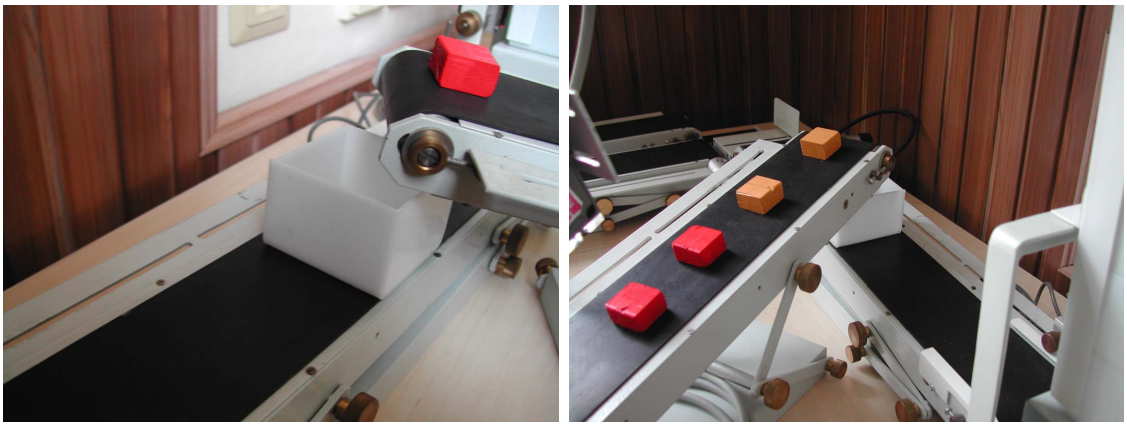
Obrázky modelu



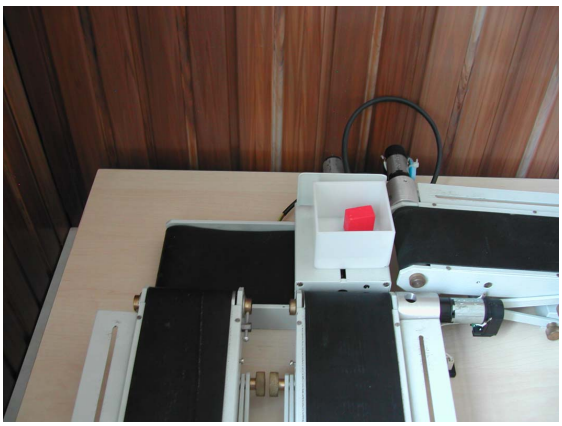
Obrázek C.1: Gravitační zásobník

Obrázek C.2: Gravitační zásobník,posun

Obrázek C.3: Držák čidla barev



Obrázek C.4: Místo pádu P



Obrázek C.5: Posuvný dopravník

Obrázek C.6: Celkový pohled na model

Příloha D

Obsah přiloženého CD

K této práci je přiloženo CD, na kterém jsou uloženy zdrojové kódy, obrázky modelu a elektronická verze této práce.