

ČVUT V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ŘÍDÍCÍ TECHNIKY



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Řízení modelu technologického procesu s využitím PLC

2008

Roman Lischka

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Roman Lischka**

Studijní program: Elektrotechnika a informatika (bakalářský), strukturovaný
Obor: Kybernetika a měření

Název tématu: **Řízení modelu technologického procesu s využitím PLC**

Pokyny pro vypracování:

1. Upravte stávající model technologického procesu tak, aby bylo možné třídit předměty podle barvy. K tomu využijte snímač barev Omron E3MC.
2. Seznamte se s funkcí a programováním modulárního automatu Omron CQM 1.
3. Navrhněte algoritmus a vytvořte program pro řízení technologického procesu.
4. Zařízení realizujte tak, aby bylo využitelné pro výukové účely.

Seznam odborné literatury:

Dodá vedoucí práce


Vedoucí: doc. Ing. Antonín Stříbrský, CSc.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2008/2009



prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry




doc. Ing. Boris Šimák, CSc.
děkan

V Praze dne 25. 2. 2008

Anotace

LISCHKA,R. Řízení technologického procesu s využitím PLC. 2008. 31 s. Bakalářská práce na fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze na katedře řídicí techniky. Vedoucí práce Stříbrský, A.

Cílem mé bakalářské práce bylo zprovoznit stávající model na třídění barevných kuliček, který slouží katedře řídicí techniky k demonstraci inteligentního čidla barev OMRON E3MC-A41 a řízení technologického procesu pomocí PLC. Po analýze problému jsem se rozhodl provést kompletní návrh řízení modelu, návrh jsem realizoval, vytvořil program pro PLC a zpracoval kompletní dokumentaci elektrických instalací.

Annotation

LISCHKA,R. Technological process control using PLC. 2008. 31 s. Bachelor thesis, Faculty of Electrical Engineering CTU, Department of Control Engineering. Supervisor Stříbrský, A

The aim of my bachelor thesis was to start an existing coloured marbles separating prototype which Department of Control Engineering uses for demonstration of a smart colour detector OMRON E3MC-A41 and technological process control through the use of PLC. After the problem analysis I have decided to realize a complete proposition for the prototype control, brought it into effect, have created a programm suitable for PLC and processed a complete documentation of wiring.

Prohlášení

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

V Praze, dne28.6.08.....

.....R. Lischka.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Antonínu Stříbrskému CSc. za odborné vedení bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě LIMASOFT, s.r.o. za zapůjčení softwarů nezbytných pro tvorbu bakalářské práce (CX-One a PCschematik), za darování čidel fakultě potřebných pro realizaci mé bakalářské práce a za poskytnutí technické podpory při programování automatu a tvorbě technické dokumentace.

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Charakteristika řídicích systémů	8
2.1	Trendy v oblasti řízení technologických procesů.....	8
2.2	Základní požadavky na logické automaty	8
2.3	Struktura řídicího systému	9
2.4	Hlavní prvky řídicího systému	9
2.5	Varianty provedení automatů.....	10
2.6	Pracovní cyklus PLC.....	10
2.7	Jazyk příčkového diagramu LD	12
3	Programové prostředky.....	13
3.1	PCschematic ELautomation.....	13
3.2	CX-ONE.....	14
4	Návrh řízení.....	15
4.1	Model pro třídění barevných kuliček	16
4.2	Ovládací panel	17
4.3	Základní technické parametry CQM1	18
4.3.1	Logické vstupy.....	19
4.3.2	Logické výstupy.....	19
4.3.3	Instrukční soubor PLC	20
4.4	Použitá čidla.....	21
4.4.1	Čidlo barev OMRON E3MC-A41	21
4.4.1.1	Základní technické parametry	21
4.4.1.2	Funkce čidla barev	21
4.4.1.3	Další možnosti nastavení čidla	22
4.4.1.4	Porovnání režimů vyhodnocování barvy	23
4.4.2	Mikrosenzor OMRON EE-SX671.....	24
4.4.3	Senzor OMRON EHT-1E.....	25
4.5	Obousměrný regulátor stejnosměrných motorků.....	26
5	Návrh algoritmu.....	27
5.1	Algoritmus automatického třídění.....	27
6	Tvorba řídicího programu.....	28
6.1	Sekce stavy.....	28
6.2	Ruční ovládání.....	28
6.3	Zobrazení barvy v ručním režimu.....	28
6.4	Automatický režim.....	28
6.5	Sekce výstupy.....	29
7	Závěr	30
8	Literatura.....	31
9	Seznam příloh	31

1 Úvod

Hlavním úkolem mé bakalářské práce je zprovoznit již existující model na třídění kuliček používaný katedrou řídicí techniky pro demonstraci technologického procesu. Jelikož dokumentace předchozích prací na modelu nebyla dostačující, byl kladen velký důraz na přehlednost programu a dokumentaci elektrických instalací. Z důvodu nahrazení PLC C28K za CQM1H bylo možné provést kroky ke zjednodušení celého řízení.

Při prvním kontaktu s modelem jsem se ujistil o nedostatečnosti technické dokumentace k tomuto modelu. Model reagoval jen v ručním režimu a to ještě ne pokaždé. Program v PLC byl sice rozdělen na jednotlivé funkční bloky, rozdělení však bylo nevyhovující. Některé vodiče vedoucí k PLC nebyly označeny popiskem a součástky na vstupně-výstupním modulu realizujícím komunikaci s PLC byly ožehnuté, což naznačovalo hlavní důvod poruchy. Tyto skutečnosti mě vedly k myšlence úplně nové realizace elektrických obvodů modelu. Tato myšlenka se po prostudování dokumentace PLC a konzultaci s vedoucím bakalářské práce zdála být proveditelnou a tak jsem se mohl pustit do návrhu řízení a výroby dokumentace elektrických instalací. Při návrhu řízení jsem se rozhodl vypustit mikrokontrolér, čímž se celý model zjednodušil. Model je tak řízen pouze pomocí PLC a je velmi snadné ho libovolně přeprogramovat.

2 Charakteristika řídicích systémů

Hlavním znakem architektury PLC je číslicově pracující elektronický systém používaný v průmyslovém prostředí, využívající programovatelnou paměť pro interní ukládání uživatelsky orientovaných instrukcí pro provádění specifických funkcí za účelem řízení strojů či procesů a to prostřednictvím digitálních nebo analogových vstupů a výstupů.

2.1 Trendy v oblasti řízení technologických procesů

Díky rozvoji průmyslu stále roste potřeba prostředků pro řízení technologických procesů. Dříve používané centralizované řízení je v posledních letech nahrazováno moderními distribuovanými řídicími systémy. Ty se vyznačují větší spolehlivostí a umožňují snadnější rozšiřování.

V dnešní době je nejrozšířenějším prostředkem pro logické řízení nejrůznějších technologických procesů programovatelný logický automat (dále jen PLC). Trend distribuovaného řízení se projevuje i v používaných senzorech. Dříve rozšířená jednoduchá čidla, jejichž signál byl často vyhodnocován až ve vzdálené centrální jednotce, jsou nahrazována inteligentními senzory. Jedním z představitelů je i čidlo barev OMRON popsané v této bakalářské práci.

2.2 Základní požadavky na logické automaty

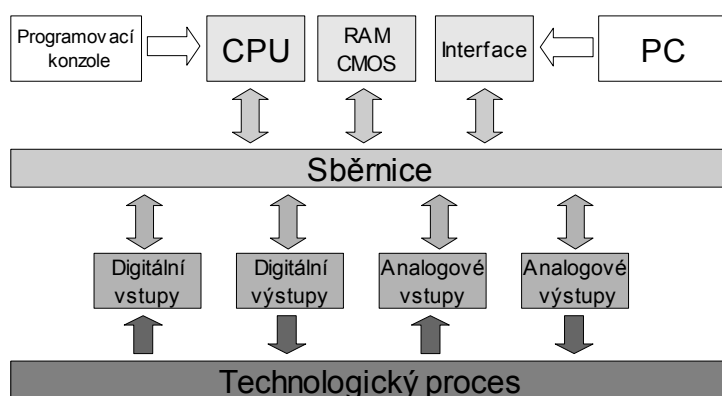
- Robustnost – PLC jsou konstruována tak, aby mohla pracovat i v nejobtížnějších provozních podmínkách v těsné návaznosti na řízenou technologii, což klade vysoké nároky na jejich odolnost vůči vlivům prostředí (teplota, vlhkost, prašnost, otřesy). Zvláštní důraz je kladen na velkou odolnost proti rušení.
- Programování – Nastavení základního programu umožňuje často „programovací panel“ připojitelný k základnímu řídicímu bloku.
- Rychlost – PLC jsou speciálně konstruovány pro řešení především logických úloh a tím jsou pro tyto aplikace rychlejší než řídicí počítače.
- Architektura – modularita PLC spolu s požadavkem komunikace s měřicími a akčními členy vyžaduje sběrníkové provedení PLC.
- Diagnostika – pokud se navzdory robustnosti vyskytne závada, je zde

požadavek na její rychlé odstranění. Některé systémy mají samotestovací diagnostiku i možnost rychlého grafického znázornění pochodů v řízené technologii.

2.3 Struktura řídicího systému

Bloková struktura PLC je znázorněna na Obr. 1. Základem PLC jsou v principu tři funkční bloky:

- zpracování informace,
- vstupy/výstupy,
- paměť.



Obr. 1: Bloková struktura PLC

Pro zadávání a ladění programu lze buď použít programovací konzoli nebo přes rozhraní RS232 připojit PLC přímo k PC. Programovací konzole se však v průmyslu již takřka nepoužívá.

2.4 Hlavní prvky řídicího systému

- Binární vstupy – zde se připojují tlačítka, přepínače, koncové spínače a jiné snímače s binárním charakterem signálu (např. binární snímače tlaku, teploty nebo hladiny).
- Binární výstupy – jsou určeny k buzení cívek relé, stykačů, elektromagnetických spojek, pneumatických a hydraulických převodníků, k ovládání signálek, ale i ke stupňovitému řízení pohonů a frekvenčních měničů.
- Analogové vstupy – zde se připojují například snímače teploty (obvykle

odporové, polovodičové nebo termočlánky), snímače tlaku, vlhkosti, hladiny ale i většina inteligentních přístrojů s analogovými výstupy.

- Analogové výstupy – pomocí těchto výstupů lze ovládat spojitě servopohony a frekvenční měniče, ale třeba i ručkové měřicí přístroje a jiné spojitě ovládané akční členy.
- Centrální procesorová jednotka – realizuje soubor instrukcí a systémových služeb, zajišťuje i základní komunikační funkce s vlastními i vzdálenými moduly, s nadřazeným systémem a s programovacím přístrojem. Obsahuje mikroprocesor a řadič zaměřený na rychlé provádění instrukcí.
- Paměť – zde jsou uloženy uživatelské registry, čítače a časovače, komunikační, časové a jiné systémové proměnné. Taktéž slouží pro uložení uživatelského programu. Na rozdíl od počítače si PLC při poruše řídicího systému musí zapamatovat poslední stav, od něhož po obnovení funkce pokračuje dále v činnosti, což klade nároky na velký objem paměti.

2.5 Varianty provedení automatů

Skutečnou sestavu automatu volíme tak, aby programovatelný automat co nejlépe vyhovoval řešeným úlohám. Existují tři varianty provedení automatů.

Kompaktní provedení - fixní konfigurace vstupů a výstupů (původní C28K).

Modulární provedení - umožňující variabilní konfiguraci PLC pro jeho přizpůsobení rozsahu řešeného úkolu s cílem dosažení technické a cenové optimalizace, případně navazující možnost rozšiřování řídicího systému (stávající CQM1).

Distribuované systémy - neboli systémy rozmístěné na větší ploše. Jde o navzájem komunikující programovatelné automaty. Činnost celého systému je ovlivněna vzájemnou komunikací jeho jednotlivých částí. Základními komunikačními protokoly jsou profibus a compobus.

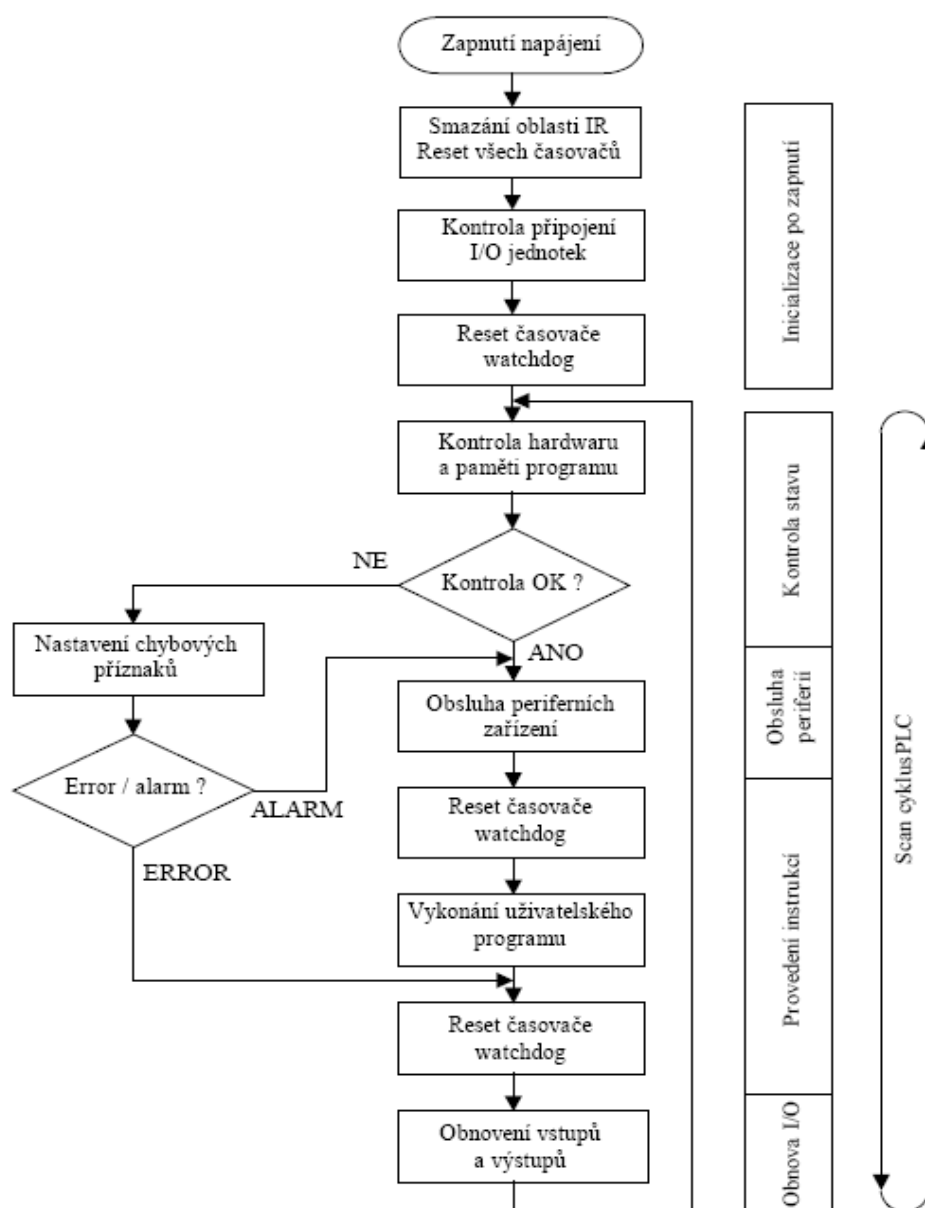
2.6 Pracovní cyklus PLC

Všechna PLC se vyznačují tím, že hlavní program je vykonáván v nekonečné smyčce, jejíž jeden průchod se nazývá scan cyklus. Jeden scan lze rozdělit na čtyři základní typy operací (viz Obr. 2):

- dohlížení,
- obnova I/O,
- obsluha periferních zařízení,
- výkon instrukcí uživatelského programu.

Po zapnutí napájení jsou navíc provedeny inicializační operace. Celkový čas jednoho scan cyklu je dán následujícím vztahem:

$$t_{scan} = t_{dohlížení} + t_{obnova\ I/O} + t_{obsluha\ periferii} + t_{vykonání\ instrukcí}$$



Obr. 2: Vývojový diagram PLC

Doba výkonu prvních tří skupin operací je pro určitou konfiguraci PLC pevně dána. Naproti tomu doba výkonu uživatelského programu je závislá na počtu instrukcí, které je nutné vykonat v daném scan cyklu. Různé instrukce mají podle náročnosti různou dobu vykonávání. Protože vykonávání programu se může větvit na základě vyhodnocení určitých podmínek, nelze pro daný program ve většině případů určit přesnou dobu výkonu. Můžeme ale určit maximální, minimální, případně průměrnou dobu vykonávání programu, což je pro mnoho aplikací postačující.

Při překročení určité doby scan cyklu může dojít např. k nesprávnému vyhodnocování hodinových pulzů, proto je PLC vybaveno speciálním časovačem, který měří dobu každého scan cyklu. Užívá se pro něj výstižný anglický název watchdog timer.

Z vývojového diagramu pracovního cyklu PLC je zřejmé, že k aktualizaci vstupů a výstupů dochází pouze jednou v rámci každého scan cyklu. Z toho vyplývají dvě důležité skutečnosti:

- Stav všech vstupních bitů v oblasti IR se během jednoho scan cyklu nemění a to i v případě, že během provádění dojde ke změně logických úrovní na vstupech PLC. Z toho plyne, že je-li na vstup přiveden pulz, který je kratší, než scan cyklus, nemusí být vyhodnocen správně. Jedinou výjimkou je instrukce IORF, která způsobí okamžitou aktualizaci zvolených bitů v IR oblasti.
- Stav fyzických výstupů PLC se aktualizuje na základě odpovídajících bitů v IR oblasti pouze jednou během každého scanu. Důsledkem je, že dojde-li během jednoho scan cyklu k několikerému nastavení výstupního bitu, na výstupu PLC se projeví pouze poslední uložená hodnota. Stejně jako u vstupů lze toto pravidlo porušit použitím instrukce IORF.

2.7 Jazyk příčkového diagramu LD

Při tvorbě programu pro PLC jsem použil grafický jazyk LD (Ladder Diagram), který je někdy také nazýván jazykem kontaktních schémat a je založen na grafické reprezentaci reléové logiky. Organizační jednotka programu je vyjádřena sítí propojených grafických prvků. Síť v jazyku LD je zleva i zprava ohraničena svislými čarami, které se nazývají levá a pravá napájecí sběrnice. Mezi nimi je tzv.

příčka, která může být rozvětvena. Každý úsek příčky, vodorovný nebo svislý, může být ve stavu on nebo off. Do příček mohou být včleněny kontakty (spínací, rozpínací apod.), cívky (cívka, negovaná cívka apod.) a dále funkce a funkční bloky.

3 Programové prostředky

3.1 *PCschematic ELautomation*

PCschematic je Windows CAD program určený speciálně pro dokumentování elektrotechnických projektů a elektrických instalací. Program je lokalizován do češtiny. Kromě ostré verze programu je k dispozici i prohlížeč projektů (Viewer), který umožní načíst projekt zhotovený v PCschematic, zobrazit ho a generovat výstupy (tiskárny, plotr, atd.). Prohlížeč je možné stáhnout přes internetové stránky uvedené v seznamu literatury.

Kromě standardních funkcí obvyklých i v jiných CAD programech podobného zaměření nabízí navíc :

- Automatické kreslení spojů od vývodů prvků k nejbližšímu možnému napojení. Tuto funkci lze vypnout.
- Automatické vytváření křížových odkazů mezi jednotlivými symboly popisujícími stejný stavební prvek.
- Pamatuje si již jednou napsaný text a nabízí ho během psaní, takže zjednoduší psaní textů. Tuto funkci lze vypnout.
- Podporuje práci s Windows OLE objekty, umožňuje vložit texty a obrázky z jiných programů (např. Autocad výkres, Word text, Excel tabulku) do výkresu i vložit výkres či rozpisku do jiné aplikace, např. do aplikace Word k napsání technické zprávy. Objekty vložené do výkresu lze editovat přímo v programu PCschematic.
- Umožňuje komplexní a efektivní práci s referenčním značením prvků použitých v projektu.
- Program má zabudován překladač do cizích jazyků pro případ zhotovení dokumentace do zahraničí.

- Podporuje efektivní práci se šablonami:
 - jednotlivých typů výkresů (rámečky a razítka výkresů a seznamů),
 - pro konkrétní části výkresů zapojení (sběrníkový rozvod napájení, zapojení motorových pohonů s jištěním včetně reverzace a rozběhu hvězda/trojúhelník, ...),
 - parametrizované části výkresů zapojení (výběrem z tabulky lze měnit parametry jednotlivých prvků použitých v projektu).
- Automatizovanou tvorbu projektu ve spolupráci programem Microsoft Excel.

3.2 CX-ONE

CX-ONE je nový programový balíček pro konfiguraci a programování produktů OMRON. Obsahuje stávající programy v jedné dodávce, vylepšení vzájemné integrace a přenosu dat mezi nimi. Nový projektový manager CXintegrátor.

Obsahuje tyto programy:

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| ●CX-Integrátor v1.0 | ●CX-programmer v6.0 |
| ●CX-simulátor v1.5 | ●CX-designer v1.0 |
| ●CX-protocol v1.2 | ●CX-motion v2.2 |
| ●CX-motion NCF v1.2 | ●CX-position v2.1 |
| ●CX-process tool v4.1 | ●CX thermo v2.0 |
| ●Face Plate for NS v2.01 | ●CX-server v2.3 |
| ●CX-drive1.11 | ●CX-profibus v1.0 |

Pro zpracování mé bakalářské práce jsem využil CX-programer v7.0. Jedná se o velmi silný nástroj k programování automatů. Má velmi dobrou online editaci programu v PLC. Vývojové prostředí je velmi přehledné. I přes velký počet jeho funkcí je v něm práce velice snadná a programování intuitivní. Zkušební verze CX-ONE je volně k dispozici na internetových stránkách uvedených v seznamu literatury

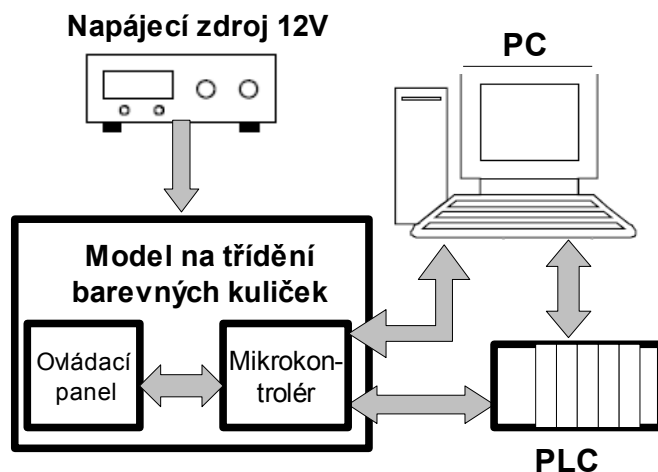
4 Návrh řízení

Jak již bylo zmíněno, k práci jsem přistupoval jako k úplně novému návrhu řízení. Vedla mě k tomu možnost zjednodušit řízení vypuštěním mikrokontroléru a snaha napodobení instalace instalacím v automatizované výrobě.

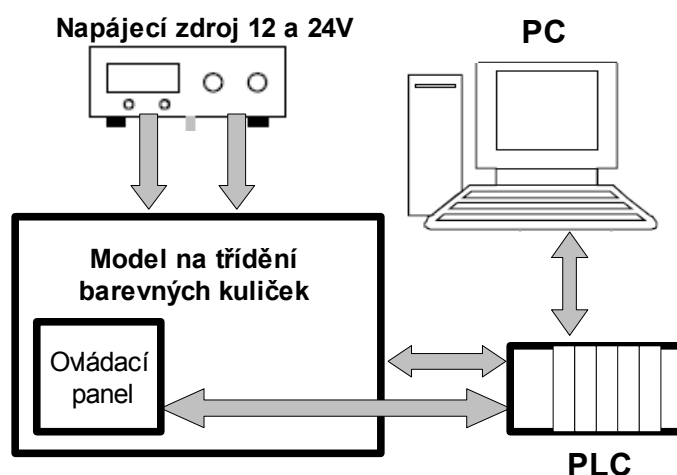
PLC CQM1 je mnohem rychlejší než PLC, se kterým byl zhotoven původní návrh. Mimo to má více vstupů a výstupů, takže bylo možné celý návrh realizovat. Nejobtížnější problém při návrhu bylo vyřešit regulaci motoru kotouče. Při původním návrhu byla do výkonového modulu pouštěna PWM z mikrokontroléru. Ta by šla velmi snadno generovat na rychlých výstupech automatu CQM1-CPU43. K dispozici jsem však měl procesor CPU45 a ten disponuje pouze analogovými vstupy a výstupy. Problém jsem vyřešil zakoupením stovebnice obousměrného regulátoru SS motorků. Potenciometr ve stovebnici jsem nahradil napětím z analogového výstupu PLC. Regulaci provádím tak, že na jeden výstup přiložím napětí 10V a druhým reguluji rychlost od 10V k 6V. Pro obrácený chod vyměním pouze napětí na vstupech.

Motor šoupátka řídím pomocí releové výstupní karty. Ta umožňuje pouze on-off ovládání. Toto ovládání bylo použito i při původním návrhu a je pro mechanismus třídění kuliček dostačující. Původní čidla 5V logiky jsem nahradil čidly 24V logiky, které lze připojit přímo k PLC a bylo tím možné vyhnout se převodům napěťových úrovní. Čidla jsem získal z neprodejných zásob skladu firmy LIMASOFT, s.r.o.. Jedná se o NPN čidla v Evropě používané opravdu zřídka. Pro inkrementální snímač kotouče a polohu šoupátka jsem použil čidla OMRON EE-SX671, ta mají takřka stejná pouzdra jako čidla původní a tak nebylo nutné model vůbec upravovat. Pro indikaci kuličky na místě zjišťování barev jsem použil čidlo OMRON E3HT. Celý návrh elektroinstalace jsem nejprve vytvořil v programu PCschematic a následně podle zpracované předlohy realizoval.

Na Obr. 3 a Obr. 4 je znázorněno blokové schéma původního a současného propojení modelu s ostatními zapojeními.



Obr. 3: Blokové schéma původního propojení modelu s ostatními zařízeními



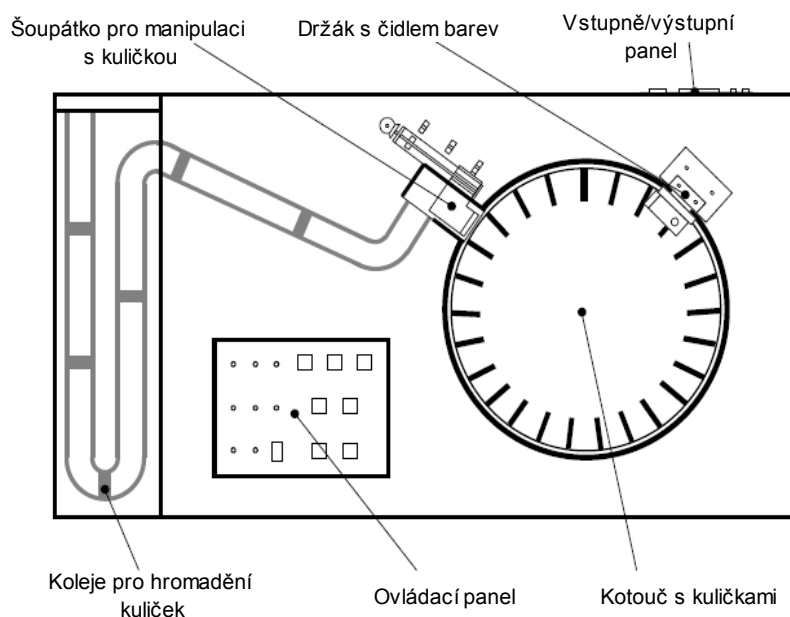
Obr. 4: Blokové schéma současného propojení modelu s ostatními zařízeními

4.1 Model pro třídění barevných kuliček

Model se skládá z několika součástí. Důležitým prvkem modelu je zejména čidlo barev. Jako snímané objekty byly zvoleny barevné kuličky, které lze snadno přemísťovat. Čidlo barev je na modelu umístěno v pevné pozici. K přemísťování kuliček na modelu slouží kotouč, který má 25 pozic oddělených pomocí přepážek pro umístění kuliček. Dále je k dispozici mechanismus (šoupátko), které umožňuje odstranit kuličku z kotouče a umístit ji do odkládacího prostoru, případně ji vrátit zpět na jinou pozici kotouče (to je možné naprogramovat, takto obtížný algoritmus

však nebyl zadáním mé práce). Model obsahuje také jednoduchý ovládací panel pomocí něhož lze model řídit a zároveň na něm sledovat jeho stav. Na zadní straně modelu je panel s průchodkami pro dráty vedoucí k PLC a zdířky pro připojení napájecích napětí 12V a 24V. Je zde umístěn také hlavní vypínač. Pro připojení napájecích napětí jsou použity čtyři přístrojové zdířky.

Půdorysné uspořádání modelu je na Obr. 5.



Obr. 5: Půdorysné uspořádání modelu

4.2 Ovládací panel

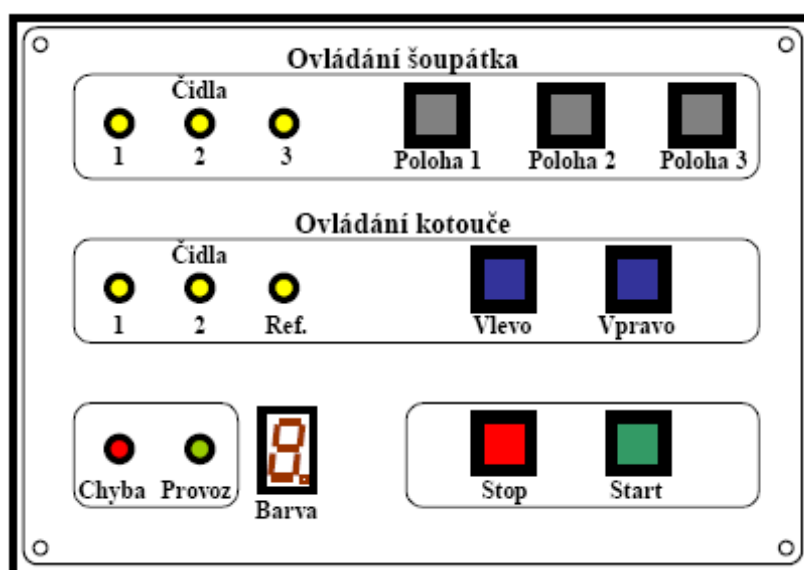
Pomocí ovládacího panelu je možné ručně ovládat model a zároveň na něm sledovat stav čidel. Na panelu je umístěno celkem sedm ovládacích tlačítek. Horní tři tlačítka slouží pro posun šoupátka, prostřední dvě tlačítka pro pohyb kotouče vpravo a vlevo a poslední dvě tlačítka jsou využity pro zapnutí a vypnutí automatického režimu.

Dále jsou na panelu 3 LED diody indikující stav optických čidel šoupátka a další 3 LED diody pro indikaci stavu čidel kotouče. V levém dolním rohu jsou pak dvě LED diody pro indikaci stavu modelu. Červená LED dioda není v mém programu využita z důvodu náročnosti odchyťávání chyb.

Dále je na modelu umístěn displej zobrazující aktuální barvu kuličky v ručním režimu a režimu načítání barev. V režimu třídění kuliček displej zobrazuje banku

barev, která se právě vyřazuje. Uspořádání ovládacího panelu je znázorněno na Obr. 6.

Základní desku ovládacího panelu jsem musel mému návrhu přizpůsobit. Provedl jsem napěťové přizpůsobení na 24V a nahradil původní displej displejem se společnou katodou, což mi umožnilo přímé velení na jednotlivé segmenty displeje. Toto řešení vyžaduje větší počet výstupu z PLC, ale je možné zobrazovat i jiné obrazce než čísla. Tuto výhodu jsem použil pro zobrazení prázdné pozice kotouče a grafické zobrazení pohybu kotouče v ručním režimu. Nové schéma zapojení je součástí dokumentace elektrických rozvodů.



Obr. 6: Uspořádání ovládacího panelu

4.3 Základní technické parametry CQM1

CQM1 jsou malá kompaktní modulární PLC, která se vyráběla v 7 různých variantách. Všechny typy obsahují 16 bitovou vstupní kartu. Třetí až pátý vstup lze použít na předprogramovaný inkrementální čítač s maximální čítací frekvencí 2,5KHz při obousměrném čítání. Tuto funkci jsem v mé práci s úspěchem použil.

Další dva vstupy lze naprogramovat pro obsluhu přerušení. Varianty se liší maximálním možným počtem přidávaných modulů, kapacitou paměti a integrovanou vstupně-výstupní jednotkou.

Pro bakalářskou práci jsem měl k dispozici CQM1 CPU45, který má zabudovanou

analogovou kartu se čtyřmi vstupy a dvěma výstupy. Na vstupy lze přivést napětí v rozmezí -10 V až 10V. Na výstupu je možné nastavit proud 0-20mA a napětí v rozmezí 0-10V uložením hodnoty v rozmezí 0000 až 07FF Hex. na adresu IR236 a IR 237. Tyto výstupy jsem použil pro řízení regulátoru motoru kotouče.

4.3.1 Logické vstupy

PLC disponuje 16 logickými vstupy přímo na procesoru, které jsem díky čidlům získaným od firmy LIMASOFT, s.r.o. musel zapojit do NPN logiky (spínání k zemi). Karta ID212 tento automat rozšiřuje ještě o 16 vstupů. Využil jsem pouze jeden vstup pro výstup z čidla barev. Všechny parametry vstupů jsou v následující tabulce (Tab. 1):

Jmenovité vstupní napětí	24 V DC +10% -15%
Vstupní impedance	3,9 kΩ
Jmenovitý vstupní proud	6 mA/24V
Napětí pro ON	min. 14,4 V DC
Napětí pro OFF	max. 5 V DC

Tab. 1: Parametry vstupů PLC

4.3.2 Logické výstupy

Dále je PLC osazeno kartou OD214, která disponuje 16 (PNP) tranzistorovými výstupy se společnou svorkou COM. Tyto výstupy jsou použity pro takřka celé řízení modelu. Až při realizaci jsem zjistil, že pět těchto výstupů je vadných. Jsou v dokumentaci označeny červeným popisem "Vadný". Je to další možný důvod, proč model nefungoval. Parametry těchto výstupů jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2):

Zpoždění sepnutí kontaktu	Max. 0,1 ms
Zpoždění vypnutí kontaktu	Max. 0,4 ms
Maximální zatížení výstupu	3,5A/26,4 V DC

Tab. 2: Parametry výstupů PLC

Poslední osazenou kartou je OC224, ta disponuje 8 releovými výstupy. Každý výstup má samostatně vyvedeny obě svorky spínacího kontaktu, lze je proto použít pro spínání obvodů, které nemají společný potenciál. Tato karta je použita ke spínání motorku šoupátka. To lze tedy řídit pouze v režimu ON/OFF, ale díky

dobrému převodu šoupátka je toto řízení naprosto vyhovující.

4.3.3 Instrukční soubor PLC

PLC OMRON CQM1 obsahuje celkem 71 instrukcí. Vzhledem k tomu, že PLC původně vznikla jako náhrada za reléové řídicí obvody, má část instrukcí své analogie v reléové terminologii. Pro rozšíření možností jsou však doplněny i aritmetické instrukce, instrukce pro definici podprogramů apod. Jednotlivé instrukce lze rozdělit do následujících skupin:

- vstupní a výstupní instrukce (LD, LD NOT, OUT, OUT NOT)
- logické instrukce (OR, OR NOT, AND, AND NOT, OR LD, AND LD)
- instrukce čítačů a časovačů (TIM, TIMH, CNT, CNTR, RDM, HDM)
- aritmetické operace (ADD, SUB, MUL, DIV)
- instrukce přenosu dat (MOV, MVN)
- posuvné registry (SFT, SFTR)
- relační instrukce (CMP)
- skoky (JMP, JME)
- podprogramy (SBS, SBN, RET)
- instrukce konverze dat (BIN, BCD, DMPX, MLPX)
- instrukce pro definici sekcí programu (STEP, SNXT)
- instrukce pro blokování mezivýsledků (IL, ILC)
- instrukce pro správu bitů (DIFU, DIFD, KEEP, STC, CLC)
- ostatní instrukce (END, NOP, IORF, ENDW, NETW)

Instrukce v závorce jsou pouze příklad instrukcí jednotlivých skupin, ne jejich plný výčet.

4.4 Použitá čidla

4.4.1 Čidlo barev OMRON E3MC-A41

4.4.1.1 Základní technické parametry

Čidla barev OMRON E3MC patří mezi moderní senzory s vyšším stupněm integrace. Jedná se o kompaktní senzory s velkou odolností proti změně okolního osvětlení i poloze snímaného předmětu. Jsou proto vhodné pro nejrůznější průmyslové aplikace. Výrobce je dodává v několika provedeních lišících se uspořádáním snímacího prvku (zabudovaný, zakončený optickým vláknem), počtem výstupů a typem výstupů. K dispozici byl typ E3MC-A41, který má optiku i vyhodnocovací elektroniku zabudovanou v kompaktním pouzdru. Základní technické parametry shrnuje následující tabulka (Tab. 3):

Zdroj světla	3×LED (680, 525, 450 nm)
Snímací vzdálenost	60 ± 10 mm
Napájecí napětí	12 ÷ 24 V DC ± 10%
Proudový odběr	Max. 100 mA
Maximální proudové zatížení výstupu	100 mA
Typ výstupu	PNP otevřený kolektor
Způsob určování barvy (volitelný pomocí přepínače)	Mód C: poměr intenzit RGB složek Mód I: absolutní světelná intenzita RGB složek
Doba odezvy (nastavitelná pomocí přepínače)	Standardní mód : 3 ms Rychlý mód : 1 ms
Počet pamětí (bank) pro uložení barev	4 (banky 0-3)
Doba odezvy při změně banky	Max. 50 ms
Rozměry	80×53×30 mm

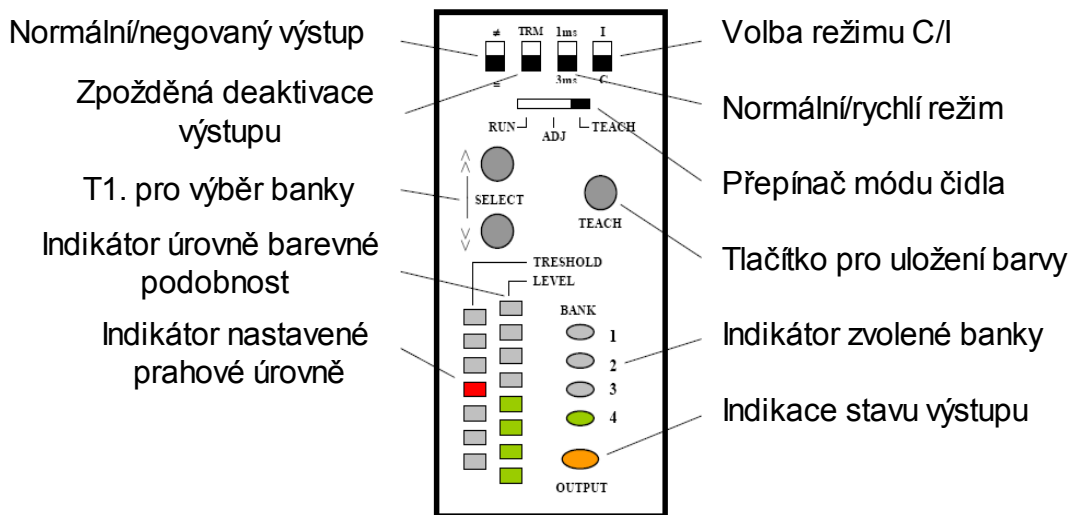
Tab. 3: Základní technické parametry čidla barev

4.4.1.2 Funkce čidla barev

Čidlo má tři základní režimy:

- režim učení barev (Teach),
- režim nastavování prahových úrovní (Adjust),
- provozní režim vlastního rozpoznávání barev (Run).

Volba režimu se provádí pomocí přepínače na čelním panelu (viz Obr. 7).



Obr. 7: Ovládací panel čidla barev

Režim učení barev (Teach)

V tomto režimu je možné do každé ze 4 možných pamětí (bank) uložit barvu referenčního předmětu. Zvolená banka je indikována pomocí 4 LED diod a nastavuje se pomocí dvou tlačítek.

Režim nastavování prahových úrovní (Adjust)

Tento režim umožňuje pro každou banku nastavit toleranční pásmo vyhodnocování barvy. Míra podobnosti aktuální barvy s referenční barvou je indikována pomocí stupnice z 8 LED diod. Prahovou hodnotu pro vyhodnocení barvy je pak možné nastavit v sedmi krocích pomocí dvou tlačítek.

Provozní režim (Run)

V tomto režimu se porovnává aktuální barva s barvou uloženou ve vybrané bance a na základě toho je nastaven výstup. Volba banky se provádí pomocí dvou adresových vstupů.

4.4.1.3 Další možnosti nastavení čidla

Kromě uložení barev je možné pomocí 4 přepínačů nastavit následující parametry:

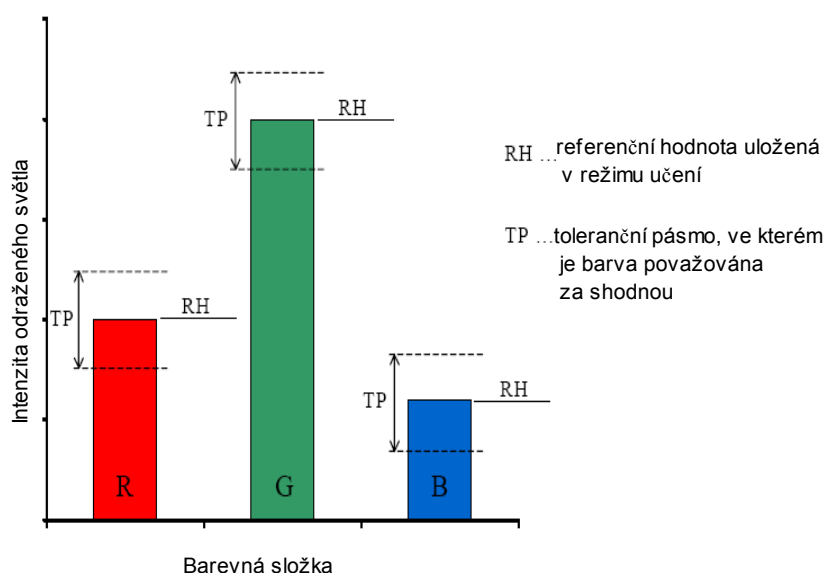
- přímý nebo negovaný výstup,
- zpožděné vypnutí výstupu 0 nebo 40 ms,
- dobu odezvy při určování barvy – normální režim (3 ms) nebo rychlý režim

(1 ms),

- režim vyhodnocování barvy C nebo I (následující kapitola).

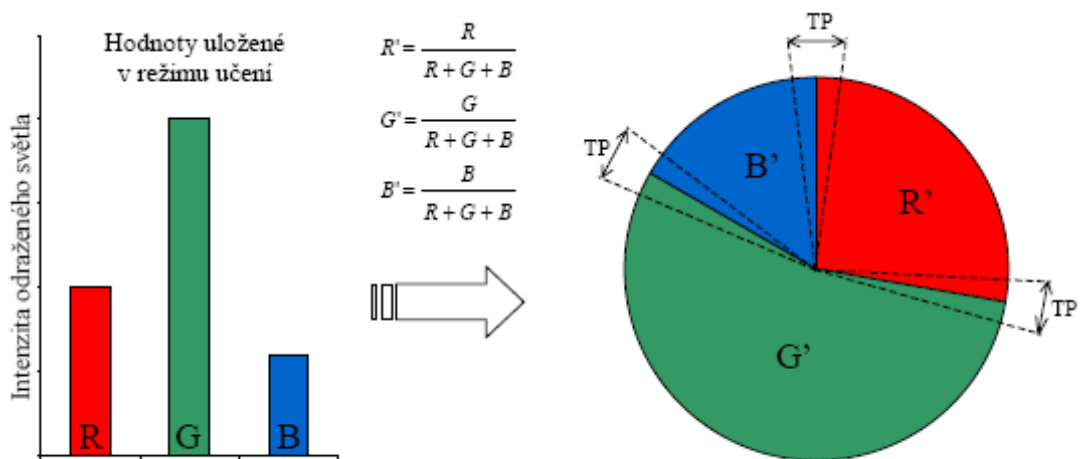
4.4.1.4 Porovnání režimů vyhodnocování barvy

Čidlo umožňuje zvolit jeden ze dvou odlišných způsobů vyhodnocování barev. První způsob označovaný jako mód I (Intensity mode, viz Obr. 8) je založen na porovnávání absolutních hodnot intenzit jednotlivých složek odraženého světla s hodnotami uloženými při učení. Aby byla barva vyhodnocena jako shodná, musí pro každou barevnou složku (RGB) platit, že leží v tolerančním pásmu okolo uložené referenční hodnoty.



Obr. 8: Princip vyhodnocování barvy v režimu I

Druhý způsob vyhodnocování označovaný jako C (Color mode) neporovnává přímo absolutní hodnoty intenzit, ale jejich relativní poměr vztažený k součtu intenzit jednotlivých RGB složek. Princip dobře ilustruje následující obrázek (Obr. 9):



Obr. 9: Princip vyhodnocování barvy v režimu C

Oba režimy mají určité specifické vlastnosti, které určují jejich vhodnost pro danou aplikaci. Následující tabulka (Tab. 4) shrnuje výhody, nevýhody a typické užití jednotlivých módů:

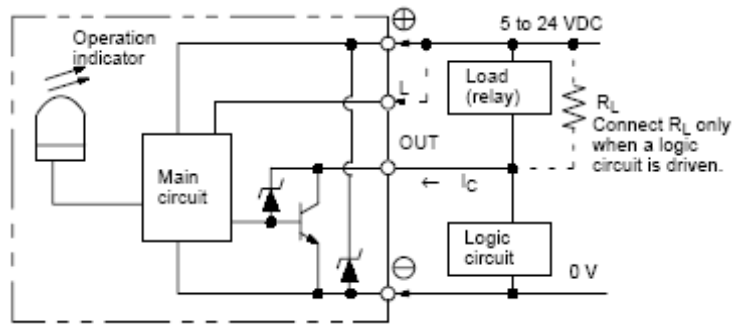
	Mód C	Mód I
Výhody	<ul style="list-style-type: none"> vysoká odolnost proti změnám vzdálenosti snímaného objektu 	<ul style="list-style-type: none"> možnost detekovat i malé barevné odchylky snadná rozlišitelnost černé, bílé a šedé
Nevýhody	<ul style="list-style-type: none"> nelze detekovat malé barevné odchylky obtížné odlišení černé, bílé a šedé 	<ul style="list-style-type: none"> málo odolné proti změně vzdálenosti snímaného objektu
Typická aplikace	<ul style="list-style-type: none"> třídění podle barvy detekce registračních značek 	<ul style="list-style-type: none"> určování poloh podle barevných značek nebo barevné výplně

Tab. 4: Porovnání režimu C a I

Z tabulky je zřejmé, že pro účel bakalářské práce je vhodnější použít režim C.

4.4.2 Mikrosenzor OMRON EE-SX671

Čidlo je vyráběno ve 4 různých provedení dle způsobu uchycení. Jedná se o snímače typu vysílač-přijímač reagující na zaclonění clonkou. Lze navolit dva režimy Dark-On nebo Light-On (spínání při zaclonění nebo odclonění). Jedná se o čidlo s otevřeným kolektorem (NPN), je možné ho přizpůsobit pro TTL výstup i připojit přímo k PLC. Mezní frekvence senzoru je 1 kHz a čidlo lze napájet v rozsahu 5VDC až 24VDC. Schéma vnitřního zapojení čidla EE-SX671 je na Obr. 10.



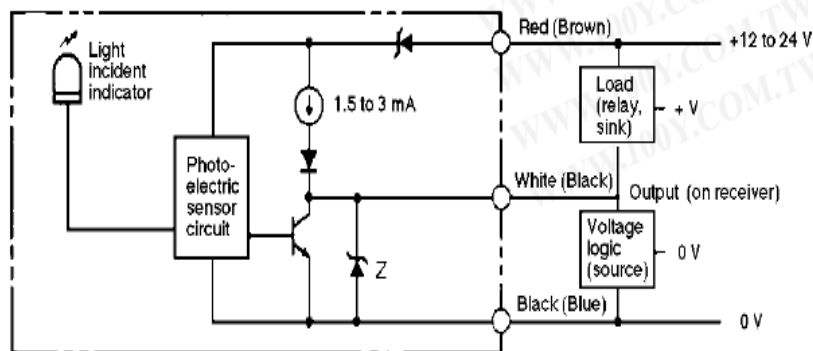
Obr. 10: Schéma vnitřního zapojení čidla EE-SX671

4.4.3 Senzor OMRON EHT-1E

Senzor OMRON EHT-1E je na Obr. 11, schéma vnitřního zapojení čidla na Obr. 12. Napájecí napětí snímače je 12V – 24V. Senzor přijímá paprsky vyzářené vysílačem a odražené od předmětu. Ostatní parametry jsou shodné se senzorem EE-SX671.



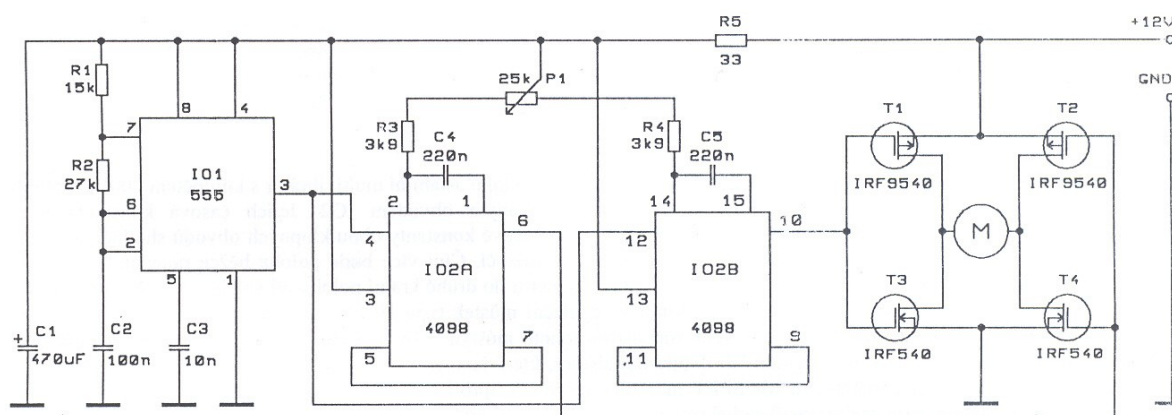
Obr. 11: Obrázek Senzoru OMRON EHT-1E



Obr. 12: Schéma vnitřního zapojení čidla OMRON EHT-1E

4.5 Obousměrný regulátor stejnosměrných motorků

Tento regulátor umožňuje bezkontaktně měnit směr otáčení stejnosměrných motorků a zároveň regulovat jejich otáčky. Regulace je realizována změnou šířky impulzů s pracovním kmitočtem 200Hz. Výkonová část je tvořena regulačním můstkem typu H, který je osazen tranzistory typu MOSFET. Regulátor je určen pro 12V motory s výkonem do 100W. Na Obr. 13 je schéma zapojení regulátoru.



Obr. 13: Schéma zapojení regulátoru

5 Návrh algoritmu

Hlavním požadavkem na algoritmus bylo setřídít barevné kuličky do odkládacího prostoru podle jejich barvy. Kritériem byla správnost setřídění, čas třídění a co nejmenší počet otáček kotouče a posunů šoupátka.

5.1 Algoritmus automatického třídění

Po prostudování možných algoritmů jsem se rozhodl rozdělit program na dvě části:

1. Načítání barev kuliček do paměti.

V této části dojde k jedné celé otáčce kotouče a načtení všech barev kuliček.

2. Fáze třídění kuliček.

Setřídění kuliček, kterým byla čidlem E3MC-A41 přidělena barva dle bank, trvá čtyři otočení kotouče. V závěrečné otočce se vytrídí všechny kuličky, které nebyly čidlem rozpoznány.

6 Tvorba řídicího programu

Program PLC v mém zpracování obsahuje nejen algoritmus automatického třídění, ale i ruční obsluhu modelu. Nejprve jsem naprogramoval ruční obsluhu modelu a to z důvodu, abych si vyzkoušel hlavní funkce řízení a možnosti ovládání modelu. Celý řídicí program je pro přehlednost rozdělen do jednotlivých sekcí, které umožňují jednoduchou orientaci v programu.

6.1 Sekce stavy

V sekci stavy se provádí inicializace proměnných po zapnutí PLC, přechod z ručního režimu do automatického, převod inkrementálního snímače a spouštění identifikace barvy kuličky po jejím dojezdu na pozici.

6.2 Ruční ovládání

Při programování ručního ovládání bylo nutné vyřešit problémy ovládání šoupátka pomocí tří tlačítek.

Pro dojezd do prostřední pozice určené k třídění kuliček v kotouči je nutná informace o pozici šoupátka. To znamená, že šoupátko musí být na jedné z krajních poloh. Bez této informace není možné šoupátko do prostřední pozice umístit. Realizace točení kotouče v ručním režimu byla snadná, bohužel docházelo v některých případech k přejetí pozice, tento nedostatek je vyřešen v sekci výstupy společně pro automatický i ruční režim.

6.3 Zobrazení barvy v ručním režimu

Funkce zobrazení barvy v ručním režimu je rozdělena do dvou sekcí.

Sekce „ZobrBarStavy“ určuje, jaké výstupy mají být aktivní v jednotlivých stavech, a obsahuje časovače určující dobu trvání jednotlivých stavů.

Sekce „ZobrBarKroky“ obsahuje podmínky pro přechod z jednotlivých stavů do jiných. Poslední stav zobrazování ukončí tento podprogram a zobrazí na displeji číslo banky zkoumané kuličky. V případě, že na zkoumané pozici není kulička, rozsvítí se pouze spodní segment. V případě kuličky, která není přidělena do žádné banky, se na displeji zobrazí nula.

6.4 Automatický režim

Automatický režim je opět rozdělen do sekcí stavy a kroky. Na samém počátku se

inicializuje šoupátko. Provádí se kontrola pozice šoupátka. Když není šoupátko na pozici „3“, tak se na ní přesune. Následuje inicializace kotouče. Kotoučem se točí proti směru hodinových ručiček až na pozici reference (referenční clonka inkrementálního snímače stojí na pozici čidla „Z“).

V tomto okamžiku se spouští stavy načítání barev. V okamžiku, kdy na pozici snímání barev není kulička, uloží se do paměti nula a na displeji se rozsvítí dolní segment. Pokud na pozici je kulička, vysílají se na čidlo čísla bank a kontroluje se výstup čidla. V okamžiku kdy se na výstupu objeví logická jednička, uloží se číslo právě posílané banky přes ukazatel do paměti DM a číslo se zobrazí na displeji. Pokud na pozici je kulička a nebyla čidlem vyhodnocena barvou ani jedné banky, uloží se do paměti číslo pět, na displeji se objeví číslice nula. Kotouč se posune o jednu pozici a ukazatel na paměť se navýší o jedna. Tímto způsobem probíhá načítání celého kotouče. Když kotouč dorazí zpět na referenci, ukončí se cyklus načítání a program přejde do fáze třídění.

Ve fázi třídění se porovnává číslo barvy kuličky s právě vyřazovanou barvou. Pokud je číslo schodné, kulička je pomocí šoupátka vyřazena. Po průchodu jedné otočky se navýší číslo právě vyřazované barvy. Číslo právě vyřazované barvy je během celého procesu třídění zobrazováno na displeji. Tímto způsobem se setřídí kuličky na kolejnici podle čísel naučených bank. Jako poslední se vyřadí kuličky, které nebyly rozpoznány. Po tomto cyklu se ukončí automatický režim a je možné ovládat model ručně.

6.5 Sekce výstupy

Jelikož je možné použít každý fyzický výstup z PLC v programu pouze jednou, shromáždil jsem tyto výstupy v této sekci. Dále jsem v této části programu vyřešil navrácení kotouče na pozici při přejetí z čidla, zastavení šoupátka na prostřední pozici a zobrazování veškerých znaků na displeji.

7 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo upravit model na třídění kuliček tak, aby ho bylo možné využít pro výukové účely. Snažil jsem se řízení modelu co nejvíce zjednodušit, z toho důvodu jsem odstranil mikrokontrolér a model upravil pro řízení pouze pomocí PLC.

Návrh elektrické instalace jsem nejprve zpracoval pomocí programu PCschematic a teprve následně podle dokumentace realizoval, proto je dokumentace naprosto shodná se skutečností.

V následujícím kroku jsem pomocí softwaru CXprogrammer vytvořil program pro ruční řízení modelu a odzkoušel jeho řiditelnost. Zde se vyskytlo jediné omezení. Mechanická vůle v převodovce motoru otáčejícího kotoučem způsobuje občasné přejetí čidla a nesprávnou polohu kotouče. Proto jsem implementoval algoritmus pro navrácení kotouče do správné polohy. To však celý proces třídění velice zpomalilo.

Dále jsem vytvořil algoritmus pro automatické třídění. Tento algoritmus jsem mnohokrát bezchybně ověřil. Při ověřování jsem se velmi dobře naučil nastavovat banky na inteligentním čidle E3MC-A41 barev.

Zpracování bakalářské práce mě naučilo vytvořit návrh řízení technologického procesu, návrh realizovat a vytvořit program pro řízení tohoto procesu. Získal jsem tak zkušenosti, které bezpochyby využiji ve své budoucí profesi.

8 Literatura

- (1) OMRON. CQM1/CPM1/CPM1A/SRM1 Programmable Controlers - Programming manual, 1998
- (2) OMRON. CQM1/CPM1/CPM1A/SRM1 Programmable Controlers - Operation manual, 1997
- (3) OMRON. RGB Color Senzor – Operation manual, Japonsko 1997
- (4) OMRON E3HT 8mm Metal Cylindrical Photoelectric – Data sheet
- (5) OMRON EE-SX670/671/672/673/674A/R- Data sheet
- (6) Pavel Němeček, Diplomová práce, FEL ČVUT, 2002
- (7) Zdeněk Vít, Bakalářská práce, FEL ČVUT, 2006
- (8) <http://www.limasoft.cz/>
- (9) <http://www.automatizace.cz/>
- (10) <http://smartplatform.info/> (CX-ONE)
- (11) http://pc schematic.com/english/index.htm?http%3A//pc schematic.com/english/pc schematic/orderdemo_progselect.htm (PCschematic)

9 Seznam příloh

- (1) CD s elektronickou podobou tohoto dokumentu, programem pro PLC, dokumentací elektrické instalace v elektronické podobě, fotodokumentací a videodokumentací.
- (1) Dokumentace elektrické instalace.
- (2) Fotodokumentace průběhu práce.