UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022 Petr Douša

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

ŘÍZENÍ NATOČENÍ KOL ZADNÍ NÁPRAVY AUTOMOBILU

Petr Douša

Bakalářská práce

2022

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Petr Douša**
Osobní číslo:	**I18299**
Studijní program:	**B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor:	**Řízení procesů**
Téma práce:	**Řízení natočení kol zadní nápravy automobilu**
Zadávající katedra:	**Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je návrh a realizace řídicího systému pro řízení natočení kol zadní nápravy experimentálního automobilu DFJP. Natočení kol zadní nápravy bude realizováno elektrickým pohonem. Řízení zadní nápravy bude dostupné ve dvou režimech. V manuálním režimu bude natočení zadní nápravy řízeno pomocí potenciometru. V automatickém režimu bude natočení kol zadní nápravy vycházet z natočení kol přední nápravy a aktuální rychlosti vozidla.
Teoretická část práce se bude zabývat stručnou rešerší elektrických pohonů, snímačů rychlosti, snímačů úhlu natočení a stanovením matematických vztahů potřebných pro realizaci návrhu.
Praktická část bude obsahovat návrh a popis elektronického zapojení jednotlivých členů řídicího systému, popis řídicích algoritmů, experimentální ověření funkce a zhodnocení výsledků.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

ŠMEJKAL, Ladislav. *PLC a automatizace*. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-087-3.
MAIXNER, L. a kol., Mechatronika, Brno, Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1299-3

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Dominik Štursa**
Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **17. prosince 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2022**

L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

Ing. Daniel Honc, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 7. ledna 2022

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 13.2.2022

Petr Douša

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Dominikovi Štursovi za ochotu a vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Petrovi Jílkovi Ph.D. za dodání informací ohledně experimentálního automobilu a snímačům pro řešení praktické části. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé rodině za motivaci a podporu během mého studia.

V Pardubicích dne 12.03.2022

Petr Douša

ANOTACE

Práce se zabývá návrhem a realizací natáčení kol zadní nápravy experimentálního vozidla DFJP. Práce obsahuje teoretickou část zabývající se rešerší experimentálního vozidla, elektrických pohonů, snímačů a programovatelného automatu. V praktické části je popsán postup řešení včetně ukázkového programu vytvořeného v prostředí CX-One a zhodnocení výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA

experimentální vozidlo, elektrické pohony, snímače, PLC, Omron, CX-One.

TITLE

WHEEL STEERING FOR THE REAR AXLE OF A CAR

ANNOTATION

The thesis deals with the design and implementation of the rear axle wheel steering of the experimental vehicle of the Jan Perner Transport Faculty. The thesis contains a theoretical part dealing with the research of the experimental vehicle, electric drives, sensors, and programmable logic controller. The practical part describes the solution procedure including a sample program developed in the CX-One environment and an evaluation of the results.

KEYWORDS

Experimental vehicle, Electrical drives, sensors, PLC, Omron, CX-One

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

4WD	Pohon čtyř kol
4WS	Řízení čtyř kol
AC	Střídavý proud
AWD	Přiřaditelný pohon kol
CCW	Proti směru hodinových ručiček
COM	Uzemnění
CW	Ve směru hodinových ručiček
DC	Stejnosměrný proud
DFJP	Dopravní fakulta Jana Pernera
FBD	Diagram funkčních bloků
HMI	Rozhraní člověk-stoj
HTP	Motor s vysokým kroutícím momentem
IL	Jazyk seznamu instrukcí
LD	Jazyk příčkového diagramu
PC	Osobní počítač
PLC	Programovatelný logický automat
SFC	Jazyk sekvenčního funkčního schématu
ST	Jazyk strukturovaného textu
USB	Univerzální sériová sběrnice

SEZNAM SYMBOLŮ VELIČIN A FUNKCÍ

l	délka, m
R	elektrický odpor, Ω
U	elektrické napětí, V
v	rychlost, $m \cdot s^{-1}$

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1.1 – Experimentální vozidlo (Experimentální vozidlo (UPCE, 2022) 15
Obrázek 1.2 – Systém 4WS (Kevin, 2022).....16
Obrázek 1.3 – Napájecí baterie.....17
Obrázek 1.4 – Rozvodová skříň.....17
Obrázek 2.1 – Stejnosměrný motor (Princip stejnosměrných motorů,2022) 18
Obrázek 2.2 – AC synchronní motor (Stroj synchronní, 2022).....19
Obrázek 2.3 – AC asynchonní motor (ELUC, 2022) 20
Obrázek 2.4 – Krokový motor (Základní principy krokových motorů, 2013) 20
Obrázek 2.5 – Servomotor (Servo Motor Overview, 2022) 21
Obrázek 3.1 – Lankový snímač (Micro-Epsilon, 2022) 22
Obrázek 3.2 – Indukční snímač (Indukční snímače, 2018) 23
Obrázek 3.3 – Hallův snímač (Hallovy snímače, 2018).....24
Obrázek 4.1 – Kompaktní PLC (Martinásková, 2001).....25
Obrázek 4.2 – Modulární PLC (Martinásková, 2001).....26
Obrázek 4.3 – Jazyk strukturovaného textu.....27
Obrázek 4.4 – Jazyk funkčních bloků (Peter, 2018).....27
Obrázek 4.5 – Příčkový diagram 28
Obrázek 4.6 – Přepis příčkového diagramu do jazyku seznamu instrukcí (Sivaranjith, 2017) 28
Obrázek 4.7 – Jazyk sekvenčního funkčního schématu (Devasia, 2022).....29
Obrázek 4.8 – HMI (What is HMI?, 2018).....31
Obrázek 6.1 – Omron CP1L (Omron, 2022) 34
Obrázek 6.2 – Pohony pro natáčení kol.....34
Obrázek 6.3 – Schéma zapojení.....35
Obrázek 6.4 – Inicializace serva po zapnutí PLC.....38
Obrázek 6.5 – Přenesení signálu do systémových bitů.....38
Obrázek 6.6 – Pozice serva.....38
Obrázek 6.7 – Joystick vlevo.....39
Obrázek 6.8 – Joystick vlevo stop 39
Obrázek 6.9 – Směr CW (vlevo) 40
Obrázek 6.10 – Směr CCW (vpravo).....40
Obrázek 6.11 – Servo stop.....40
Obrázek 6.12 – Vývojový diagram manuálního řízení.....41

Obrázek 6.13 – Použitý snímač WDS 42
Obrázek 6.14 – Blokové schéma zapojení automatického režimu 43
Obrázek 6.15 – Výpočet hodnoty polohy pro natočení kol 45
Obrázek 6.16 – Výpočet hodnoty polohy pro souhlasné řízení 45
Obrázek 6.17 – Natáčení kol nesouhlasně do určené polohy 46
Obrázek 6.18 – Natáčení kol souhlasně do určené polohy 46
Obrázek 6.19 – Nastavení parametrů 47
Obrázek 6.20 – Vyvojový diagram automatického režimu 48
Obrázek 6.21 – Desing ovladání panelu 49

OBSAH

Seznam zkratek a značek ... 7
Seznam symbolů veličin a funkcí ... 8
Seznam ilustrací ... 9
Obsah ... 11
Seznam tabulek ... 13
Úvod ... 14
1 Experimentální automobil ... 15
1.1 Systém 4WD ... 15
1.2 Systém 4WS ... 16
1.3 Elektronika vozidla ... 16
2 Elektrické pohony ... 18
2.1 Elektrické motory ... 18
2.1.1 Stejnosměrný motor ... 18
2.1.2 Střídavý synchronní motor ... 19
2.1.3 Střídavý asynchronní motor ... 19
2.1.4 Krokový motor ... 20
2.1.5 Servomotor ... 21
2.1.6 Frekvenční měnič ... 21
2.2 Převodník napětí ... 22
3 Snímače ... 22
3.1 Lankový snímač ... 22
3.2 Snímače rychlosti otáček ... 23
3.2.1 Induktivní snímač ... 23
3.2.2 Hallův snímač ... 23
4 PLC ... 24
4.1 Využití PLC ... 24
4.2 Druhy plc ... 25
4.2.1 Mikro PLC ... 25
4.2.2 Kompaktní PLC ... 25
4.2.3 Modulární PLC ... 26
4.3 Programovací jazyky ... 26
4.3.1 Jazyk strukturovaného textu (ST) ... 27

4.3.2 Jazyk funkčních bloků (FBD) ... 27
4.3.3 Jazyk příčkového diagramu (LD) ... 28
4.3.4 Jazyk seznamu instrukcí (IL) ... 28
4.3.5 Jazyk sekvenčního funkčního schématu (SFC) ... 29
4.4 Výhody a nevýhody použití PLC ... 30
4.5 HMI ... 30
4.6 Omron ... 31
4.6.1 CX-One ... 31
5. Matematický vzorec ... 31
6 Praktická část práce ... 33
6.1 Použité PLC ... 33
6.2 Použité pohony ... 34
6.3 Manuální ovládání ... 35
6.3.1 Blokové schéma zapojení ... 35
6.3.2 Proměnné programu ... 35
6.3.3 Ukázka programu manuálního řízení ... 38
6.3.4 Vývojový diagram ... 41
6.4 Automatické ovládání ... 42
6.4.1. Výběr snímače polohy ... 42
6.4.2 Výběr snímače rychlosti ... 43
6.4.3 Blokové schéma zapojení ... 43
6.4.5 Proměnné programu ... 43
6.4.6 Ukázka částí programu ... 45
6.4.7 Vývojový diagram ... 48
6.5 Zobrazení informací na hmi ... 49
Závěr ... 50
Seznam literatury ... 51
Přilohy ... 54

SEZNAM TABULEK

Tabulka 5.1 – Naměřené hodnoty 32
Tabulka 6.1 – Parametry použitého PLC Omron CP1L (Omron, 2022) 33
Tabulka 6.2 – Vstupní promnněné 36
Tabulka 6.3 – Výstupní proměnné 36
Tabulka 6.4 – Vnitřní proměnné 37
Tabulka 6.5 – Vstupní proměnné 43
Tabulka 6.6 – Vnitřní proměnné 44

ÚVOD

Experimentální vozidlo DFJP se systémem pohonu všech čtyř kol a řízení všemi koly je vytvořeno ke zkoušení a ověřování jízdní stability a realizaci jízdních zkoušek. První vozy se systémem 4WS byly na trh uvedeny již v 80. letech 20 století. Byli to přední japonští výrobci automobilů, kteří se rozhodli tento systém zabudovat do svých automobilů. Začátkem 2. tisíciletí z důvodu malé efektivity, vysoké ceny a náročnosti tento systém z japonských aut vymizel. S návratem řízení všech kol přišel v roce 2008 překvapivě evropský výrobce Renault. Experimentální vozidlo je ovšem ojedinělé, protože zadní kola se mohou natáčet ve stejném úhlu rejdu jako kola přední nápravy což doposud běžná auta s tímto systémem nedokážou. Cílem mé práce je návrh a realizace řídicího systému pro řízení natočení kol zadní nápravy experimentálního automobilu. Zadní náprava se bude automaticky natáčet v závislosti na rychlosti a úhlu natočení přední nápravy.

1 EXPERIMENTÁLNÍ AUTOMOBIL

Jak již bylo zmíněno v úvodu, tento automobil je určen pro testovací účely jízdních vlastností. Experimentální vozidlo bylo navrženo a začalo se stavět v roce 2005. Toto vozidlo je postaveno na podobném principu jako Škoda Fabia první generace. Pohonnou jednotkou zde je tříválcový benzínový motor ze Škody Fabie 1.2 HTP. Přední a zadní náprava a také i převodovka je taktéž ze Škody Fabie I s tím rozdílem, že vozidlo má systém 4WD a 4WS. Dále se pak liší oproti běžným sériově vyráběným automobilům vzhledem a usazením motoru, který je uložen podélně z důvodu rovnoměrného rozložení hmotnosti (Hron, 2019).

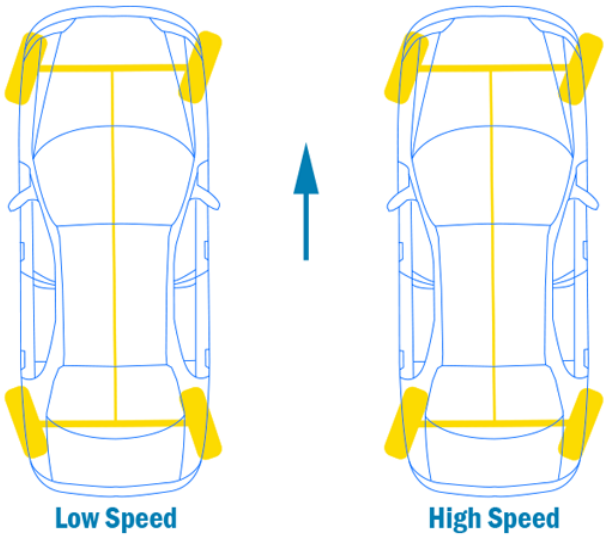
Obrázek 1.1 – Experimentální vozidlo (UPCE, 2022)

1.1 SYSTÉM 4WD

Systém 4WD je označení pro stálý pohon všech čtyř kol. Oproti AWD, kde se dá přiřadit druhá náprava pro zvýšení trakce na nezpevněném povrchu, je využití pro tento systém na suchých pevných površích. Točivý moment je rozdělen mezi přední a zadní nápravou v poměru 50:50. Nápravové diferenciály jsou doplněné o mezinápravový diferenciál. Není vhodný do zhoršených adhezních podmínek, protože v případě prokluzu kola na něj diferenciál přivede všechen výkon na úkor ostatních kol a automobil by byl zcela nepoužitelný (4WD).

1.2 SYSTÉM 4WS

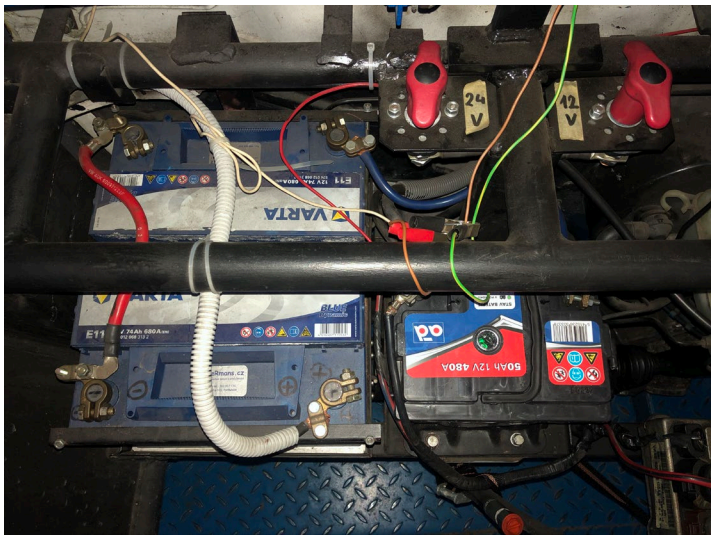
4WS je systém aktivního natáčení zadních kol vozidla. Umožnuje lepší manévrovatelnost v nižších rychlostech a lepší ovladatelnost ve vyšších rychlostech. Rozlišují se dva typy řízení podle směru natočení zadních kol. Souhlasné a nesouhlasné. Souhlasné řízení se používá při vyšších rychlostech. Zadní kola se natáčí stejným směrem jako přední kola. Nesouhlasné je používáno při nižších rychlostech. Zadní kola se otáčí opačným směrem než přední kola. To umožní vozidlu velmi dobrou manévrovatelnost na malé ploše a usnadňuje například parkovaní. Natáčení kol má na starost servo se šnekovou převodkou (4WS, 2022).



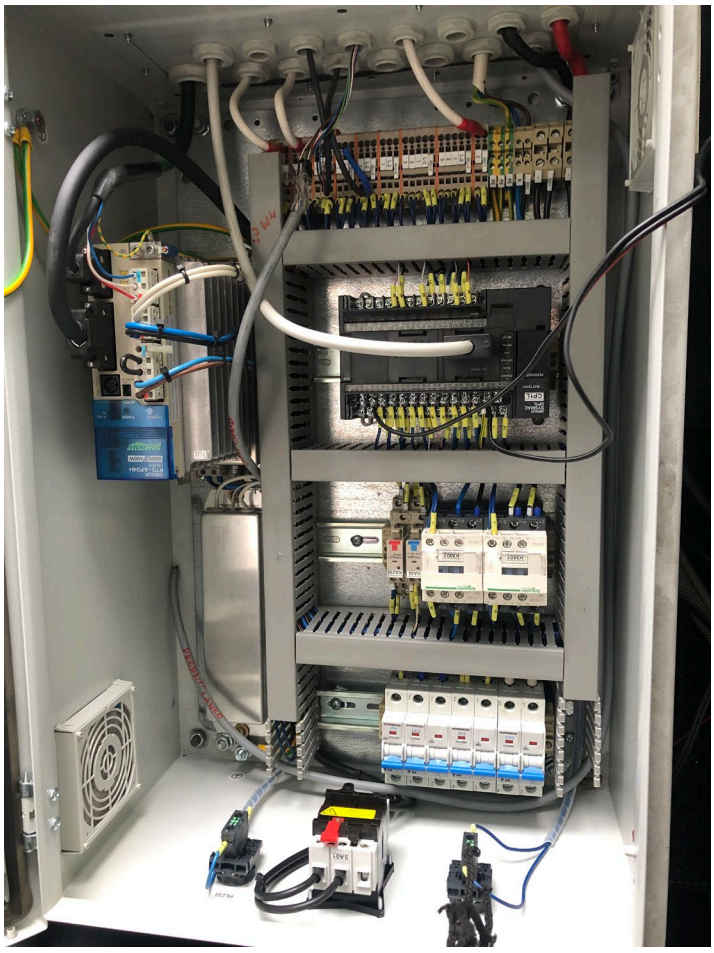
Obrázek 1.2 – Systém 4WS (Kevin, 2022)

1.3 ELEKTRONIKA VOZIDLA

Zdrojem elektrické energie jsou v případě tohoto vozidla 3 autobaterie viz obrázek 1.3. Každá o napětí 12 V. První baterie je samotná, ta je původní a nezbytná například pro nastartování benzínového motoru či rozsvícení palubové desky a světel. Druhá s třetí jsou zapojeny sériově, jejich napětí se sčítá a finální napětí je 24 V. Jsou přidané dodatečně z důvodu napájení rozvaděčové skříně viditelné na obrázku 1.4, která je určena k ovládání elektrických obvodů. Důležitou komponentou nacházející v rozvaděči je PLC, které je mozkem natáčení zadní soupravy. Jsou do něj zapojené snímače, HMI, joystick a ovladač servomotoru.



Obrázek 1.2 – Napájecí baterie



Obrázek 1.3 – Rozvodová skříň

2 ELEKTRICKÉ POHONY

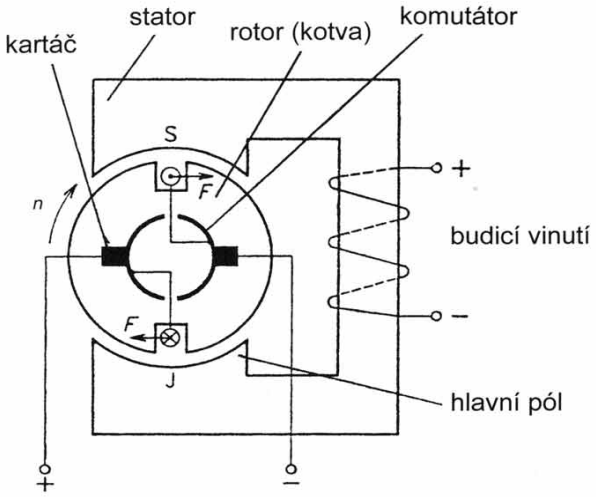
Pod pojmem elektrické pohony rozumíme soustavu vytvořenou z vhodných kombinací elektrotechnicích zařízení pro elektromechanickou přeměnou energie pro vytváření, přes a zpracování signálů, řídích tuto elektromechanickou přeměnu, jejíž vstupní řídící signály jsou určený obsluhou nebo nadřazeným řídícím, regulačním nebo automatizačním členem a jejích výstupní veličiny jsou parametry mechanického pohybu. (Kobrle, 2016)

2.1 ELEKTRICKÉ MOTORY

Elektrické motory jsou stroje, jež přeměňují elektrickou energii na energii mechanickou. Princip je založen na vzájemném působení silových účinků magnetického pole.

2.1.1 Stejnosměrný motor

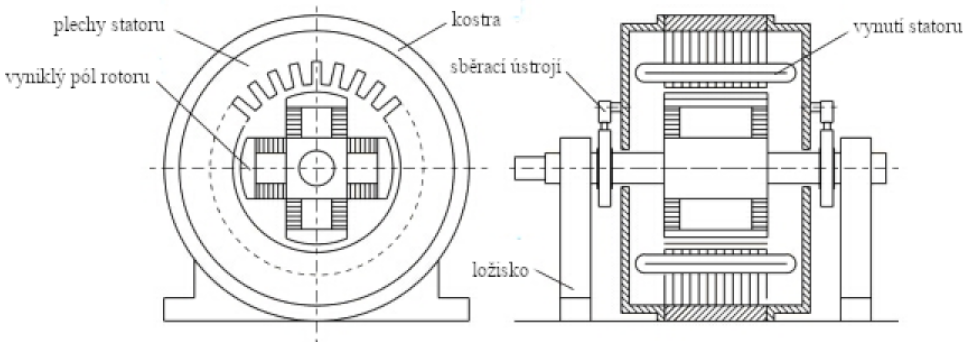
Tento motor je založen na principu působení sil na vodič, který je umístěn v magnetickém poli a protéká ním proud. Přivedením stejnosměrného proudu na komutátor dojde k tomu, že proud bude protékat cívkou kotvy. Jelikož je tato cívka kotvy v magnetickém poli, začne na ni působit magnetická síla. K určení směru magnetické síly se používá takzvané Flemingovo pravidlo levé ruky. Aby se rotor motoru točil neustále, se musí neustále též měnit směr proudu. K tomu se využívá zařízení nazývající se komutátor, který přepíná proud po každé půlotáčce (ABB CZECH REPUBLIC, 2019).



Obrázek 2.1 – Stejnosměrný motor (Princip stejnosměrných motorů, 2022)

2.1.2 Střídavý synchronní motor

Synchronní motor využívá třífázového střídavého proudu. Nazývá se synchronní, protože rotor rotuje stejnou rychlostí jako magnetický tok. Na rozdíl od stejnosměrného motor nepotřebuje komutátor, ale potřebuje rotor poskytující aktivní magnetické pole. Základ toho motoru tvoří „válcový“ stator, který je tvořen ze stovek statorových plechů ležících těsně na sobě. Po celém vnitřním obvodu jsou v plechách zářezy vyplněné izolovanými cívkami nebo vlákny měděného drátu, které se označují jako vinutí. Připojením napětí vytvoří vinutí magnetické pole. Stator toto magnetické pole udržuje a také řídí rozložení elektrického pole. Cívky vinutí, do kterých je přiveden střídavý třífázový proud, jsou rozmístěny pravidelně po dvojicích a každá dvojice svírá s předchozí úhel 120 stupňů. Přiřazením dvojic cívek na 3 fáze bude mít generované magnetické pole fázový posun o 120 stupňů. To má za výsledek otáčení magnetického toku ve statoru. Vložením elektromagnetu do statoru a přivedením proudu začne elektromagnet rotovat (ABB CZECH REPUBLIC, 2019).

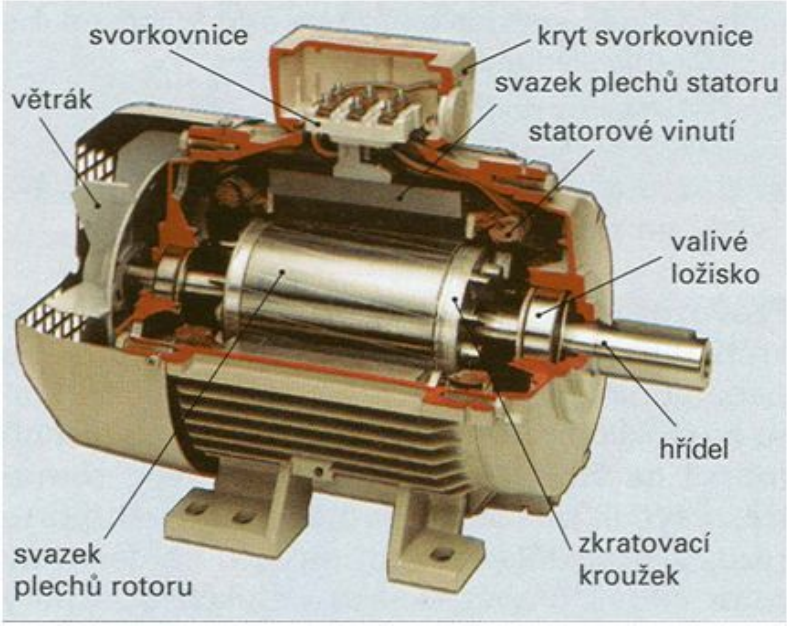


Obrázek 2.2 – AC synchronní motor (Stroj synchronní, 2022)

2.1.3 Střídavý asynchronní motor

Asynchronní motor se nazývá též indukční. Tento typ motoru má též stator tvořený ze statorových plechů s vynutím. Princip spočívá v tom, že umístěním paralelní dvojice vodičů do statoru rotující magnetická tok indukuje napětí. Dvojicí vodičů začne protékat proud, který vytváří své vlastní magnetické pole reagující s polem statoru a způsobuje pohyb. Ovšem aby tento proud vznikl, musí být rychlost rotoru pomalejší než pole statoru. Asynchronní motory má rotor, ve kterém paralelní vodiče tvoří válec. Tyto vodiče jsou na konci spojené kruhem. Tento typ rotor se označuje jako klecová kotva. Modernější motory využívají větší počet vynutí čímž se zvýší počet pólů a díky tomu vzniká jedno litější magnetické pole. Zvyšování pólů ale

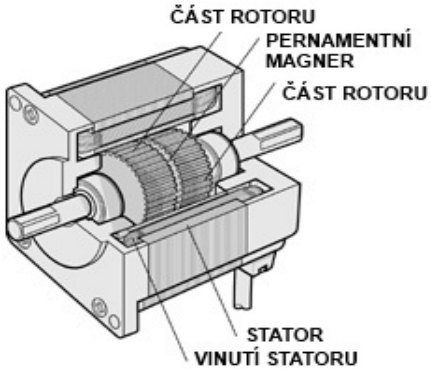
snižuje rychlost otáčení, proto se využívají frekvenční měniče, pomocí kterých se dá ovládat rychlost motoru (ABB CZECH REPUBLIC, 2019).



Obrázek 2.3 – AC Asynchronní motor motor (ELUC, 2022)

2.1.4 Krokový motor

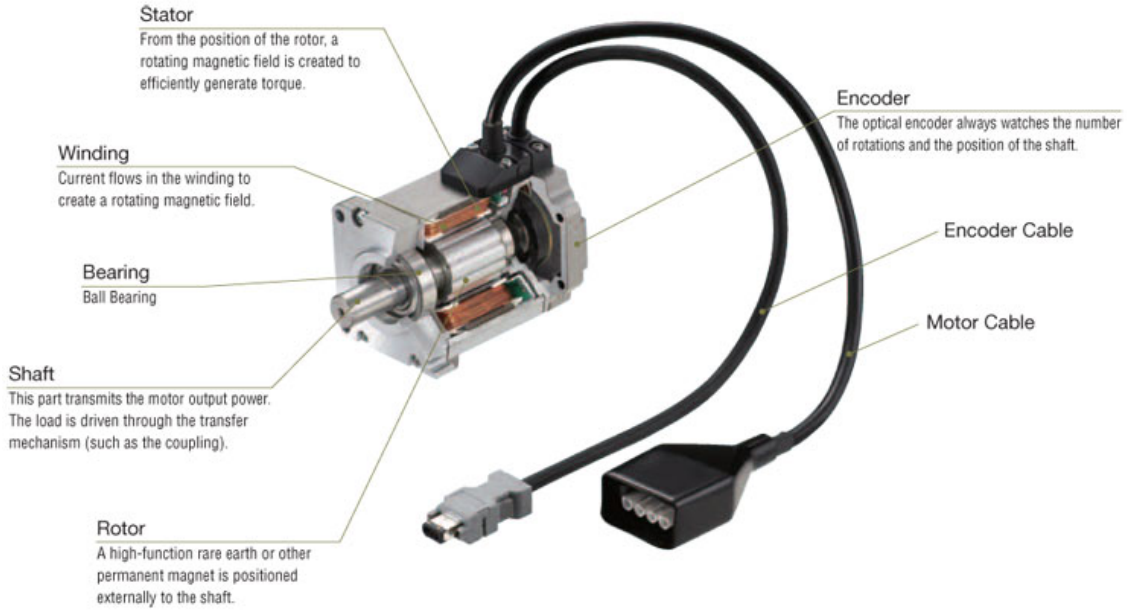
Jedná se o synchronní bezkartáčový stejnosměrný motor. Jako většina motorů i tento se skládá ze statoru a rotoru. Stator je tvořen dvojicemi cívek a jejich postupným zapínáním stejnosměrným proudem je tvořeno točivé magnetické pole ve statoru. Rotor je tvořen buď z permanentního magnetu nebo železným jádrem. Rotor motoru s hřídelí se otáčí po krocích. U krokového motoru můžeme snadno řídit otáčky a polohu kroků. Jsou levné a kompaktní. Využívají se tam, kde není potřeba vysoká rychlost otáčení, vyšší zrychlení a přesnost (Krokový motor – princip, 2013).



Obrázek 8.4 – Krokový motor (Základní principy krokových motorů, 2013)

2.1.5 Servomotor

Je v podstatě vyráběn ze základního DC motoru. Nejběžnější servomotory mají rotor s permanentními magnety a stacionární stator s vynutím. Magnetické pole statoru, které působí na rotor a vyvíjí tak točivý moment, je také vytvořeno zapínáním proudu. Na rozdíl od krokového motoru má výrazně menší počet pólů. V důsledku toho musí být provozovány v uzavřené smyčce. Díky zpětné vazby s uzavřenou smyčkou poskytují podstatně vyšší přesnost polohování a větší rychlost a zrychlení oproti krokovým motorům. Ovšem jsou podstatně dražší a složitější na řízení (Lackey, 2018).



Obrázek 2.5 – Servomotor (Servo Motor Overview. 2022)

2.1.6 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič je zařízení, které se používá při změně otáček elektromotorů. Tento měnič přeměňuje střídavé napětí a proud určitého kmitočtu na střídavé napětí a proud s jiným kmitočtem. Většina běžných asynchronních motorů má počet otáček dán od výroby. Díky měničům frekvence lze dosáhnout vyšších otáček a zajistit plynulý rozběh a také doběh motoru, což může mít za výsledek i delší životnost motoru (Měnič frekvence, 2022).

2.2 PŘEVODNÍK NAPĚTÍ

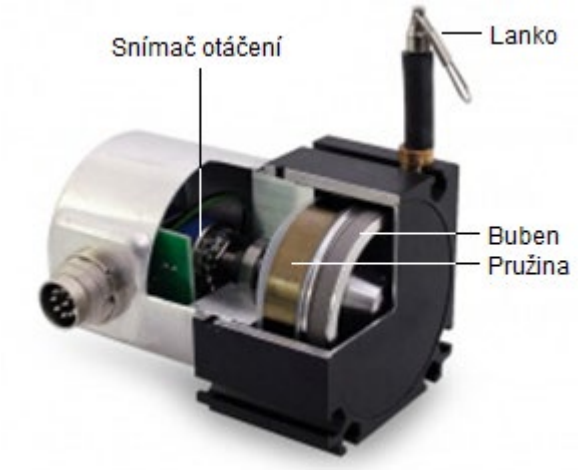
Slouží ke změně vstupního napětí na požadované výstupní napětí. Přeměňují například stejnosměrný proud 24 V na střídavý proud 230 V. Jedná se o ideální řešení, jak napájet servomotor pomocí obyčejné autobaterie. Existují i měniče jejichž využití lze uplatnit i například při cestování do zemí, kde se může lišit napájení sítě.

3 SNÍMAČE

Snímač častokrát označovaný též jako sensor či čidlo je zařízení sloužící k měření anebo sledování fyzikální veličiny a převádí ji na signál. Tento signál pak je možno zpracovávat v různých programovatelných zařízeních. V této práci jsou využity 2 typy snímačů, a to lankový snímač a snímač rychlosti otáček.

3.1 LANKOVÝ SNÍMAČ

Princip lankového snímače je založen na starém dobrém měření délek pomocí z klubka odvinutého a nataženého lanka, jehož vysunutá délka je převáděna na elektrický analogový, pulsní či digitální signál. Lanko se při pohybu objektu odvíjí či navíjí na buben, na který je mechanicky připojen snímač otáčení (potenciometr či enkodér). Konec lanka je upevněn na pohybujícím se objektu a těleso snímače je připevněno k pevné podložce. Otáčivý pohyb bubnu uvnitř snímače se převádí na elektrický signál, který je úměrný lineárnímu prodloužením lanka nebo rychlosti jeho pohybu (odvíjení). Tento signál je pak možné dále libovolně zpracovávat v řídících jednotkách nebo zobrazit na displeji měřidla. Zpětné navíjení lanka bývá zajištěno pružinou (Vojáček, 2011).



Obrázek 3.1 – Lankový snímač (Micro-Epsilon, 2022)

3.2 SNÍMAČE RYCHLOSTI OTÁČEK

Snímač rychlosti otáček je instalován přímo do převodovky, kde monitoruje otáčky hřídele převodovky. Ve vozidlech se používají především dva typy snímačů rychlosti otáček:

- Induktivní snímač
- Hallův snímač

3.2.1 Induktivní snímač

Induktivní (též indukční) snímač bezkontaktně detekuje přítomnost kovových vodivých materiálů. Snímač funguje na principu elektromagnetické indukce pro detekci nebo měření objektů. Používají se tam, kde je kontakt nemožný. Mají uzavřené pouzdro, což z nich dělá velice spolehlivé a odolné, proto jsou využívané v znečištěných prostředích. Měří rychlost otáček například na ozubených kolech (Agarwal, 2019).

Obrázek 3.2 – Indukční snímač (Indukční snímače, 2018)

3.2.2 Hallův snímač

V dnešní době jsou tyto snímače nezbytnou součástí každého automobilu. Hallův snímač je určen pro inkrementální měření otáček vačkové hřídele a klikové hřídele (ROBERT BOSCH GMBH, 2022), ale může taky detekovat přiblížení objektu s magnetem. Senzory s Hallovým efektem jsou též bezkontaktní, což znamená, že nemusí přijít do kontaktu s fyzickým prvkem. Výstupem může být buď digitální (on a off) nebo analogový (kontinuální) signál, to záleží na jejich konstrukci a účelu používání (Jost, 2019).

Obrázek 3.3 – Hallův snímač (Hallovy snímače, 2018)

4 PLC

Logický programovatelný automat je malý průmyslový počítač, který se používá pro řízení procesů a ovládaní strojů v reálném čase. Nahrazuje pevně zapojení reléové obvody. Základem každého programovatelného automatu je CPU a vstupní a výstupní moduly. Obvykle se PLC programuje prostřednictvím PC s příslušným softwarem. (Lemay, 2022).

4.1 VYUŽÍTÍ PLC

Jsou používané v celé řadě průmyslových odvětví,včetně automobilovém průmyslu, chemickém průmyslu a při řízení jednotlivých strojů, jednodušších procesů, výrobních linek, podsystémů velkých technologických procesů. Programovatelné automaty jsou velmi robustní, jsou tedy odolné vůči vysokým teplotám, prachu a nečistotám. Disponují rychlou dobou odezvy, PLC pracuje v reálném čase, a tak je možné ihned reagovat na vstupy (Lemay, 2022).

4.2 DRUHY PLC

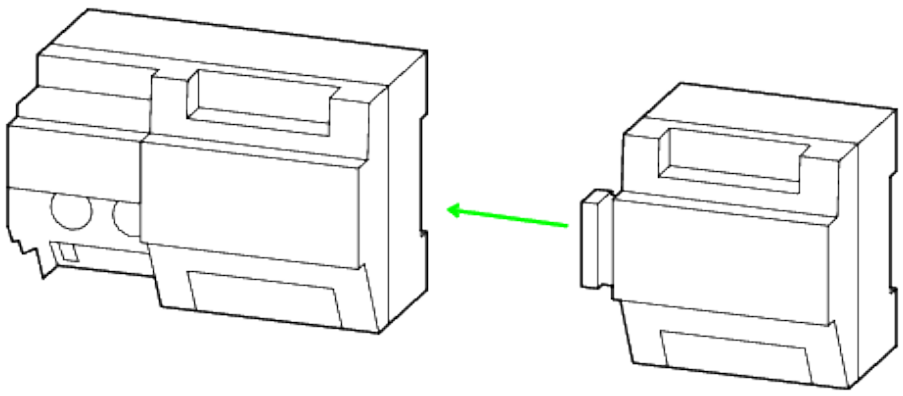
Programovatelné automaty se rozdělují podle konstrukce na 3 typy, a to na mikro, kompaktní a modulární. U výběru PLC je také potřeba dávat si pozor jakého typu jsou vstupy a výstupu, které mohou být digitální či analogové.

4.2.1 Mikro PLC

Mikro PLC je nejmenší a nejlevnější typ programovatelných automatů. Uživateli nabízí pevný počet binárních vstupů a výstupů. Počet binárních vstupů a výstupu je obvykle sudý, například 8 binárních vstupů a 8 binárních výstupů apod. Základní modul nelze nijak dodatečně rozšiřovat o přídavné moduly. Jelikož se jedná o programovatelný automat nejnižší kategorie, nenabídne takový výkon oproti klasickým PLC, ale díky svým malým rozměrům a nízké ceně jsou vhodné pro nejprostší úlohy (řízení dopravníků, řízení osvětlení, parkovací systémy, ventilace) (Šmejkal, 2002).

4.2.2 Kompaktní PLC

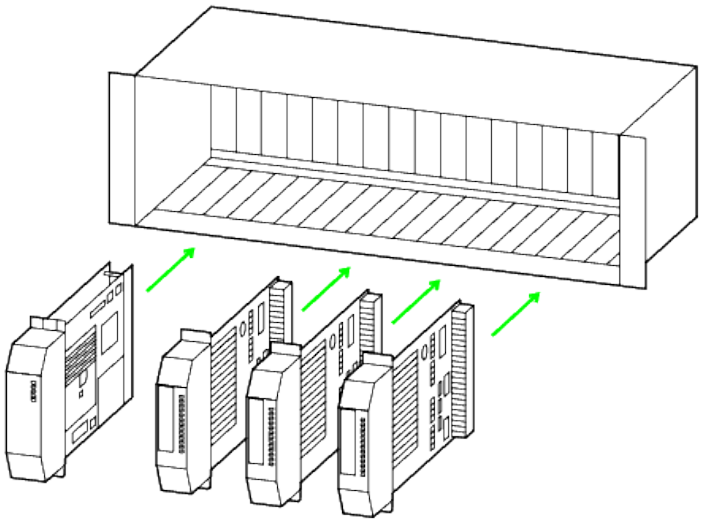
Kompaktní programovatelný automat má na rozdíl od Mikro PLC možnost pro rozšíření, byť velmi omezené. Základní modul lze rozšířit o přídavné moduly s pevnou kombinací vstupů, modul rychlých čítačů, analogový nebo vstupní modul, modul regulátoru apod. (Šmejkal, 2002).



Obrázek 4.1 – Kompaktní PLC (Martinásková, 2001)

4.2.3 Modulární PLC

Modulární programovatelné automaty poskytují nesrovnatelně větší volnost ve volbě konfigurace. Uživatel může libovolně přidávat vstupy s digitálními nebo analogovými vstupy. Používá se pro velmi náročné průmyslové aplikace. Jak již název napovídá, PLC je tvořeno moduly, které tvoří celek. (Šmejkal, 2002)



Obrázek 4.2 – Modulární PLC (Martinásková, 2001)

4.3 PROGRAMOVACÍ JAZYKY

Existuje 5 programovacích jazyků, které jsou využívány pro programovaní logických automatů. Tyto programovací jazyky jsou definovány normou IEC 61131-3 a rozdělujeme je na textové nebo grafické

Mezi textové patří:

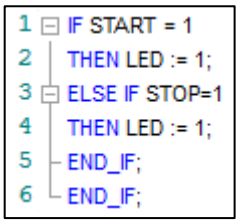
- Jazyk strukturovaný text
- Jazyk seznamu instrukcí

Mezi grafické patří:

- Jazyk funkčních bloků
- Jazyk příčkového diagramu
- Jazyk sekvenčního funkčního schématu

4.3.1 Jazyk strukturovaného textu (ST)

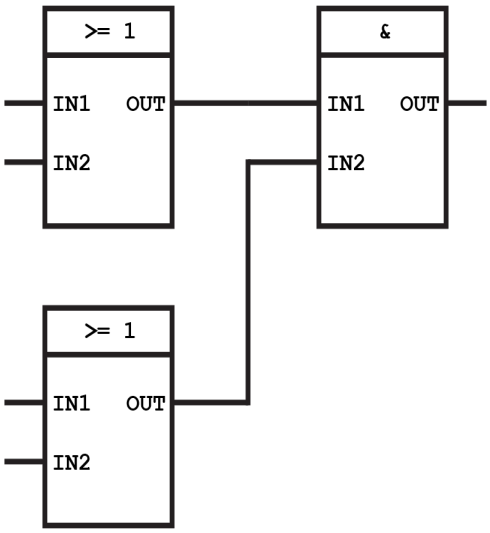
Jedná se o programový jazyk vyšší úrovně. Je podobný programovacímu jazyku Pascal. Programový kód se skládá z kombinace výrazů a instrukcí. Obsahuje příkazy jako například IF, ELSE, THEN, CASE, FOR, WHILE, REPEAT, RETURN, EXIT a používá se při složitějších úlohách, kde si grafické programovací jazyky nevystačí (TECO, 2007).



Obrázek 4.3 – Jazyk strukturovaného textu

4.3.2 Jazyk funkčních bloků (FBD)

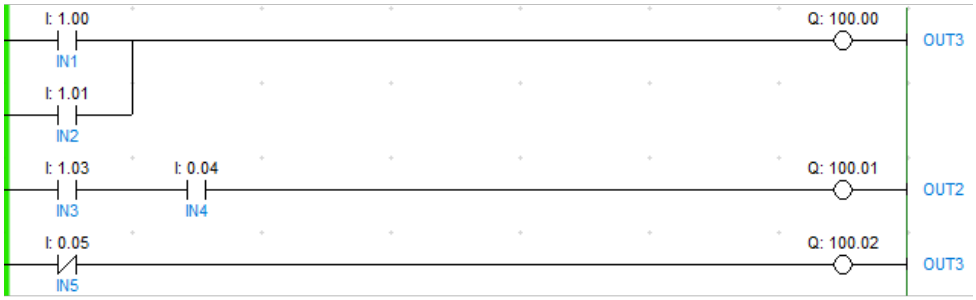
V tomto jazyce je program tvořen z čítačů, časovačů a funkčních bloků, které vyjadřují logické funkce, kterými jsou například AND, OR, NAND, XOR, NOT, NAND, NOR, XNOR (TECO, 2007).



Obrázek 4.4 – Jazyk funkčních bloků (Peter, 2018)

4.3.3 Jazyk příčkového diagramu (LD)

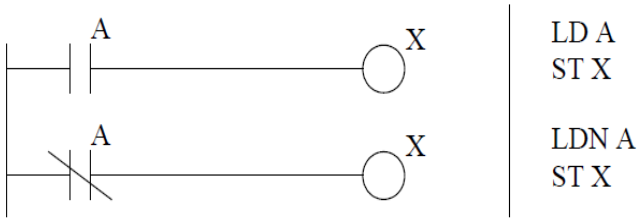
LD (Ladder Diagram) je jazyk, který vychází z reléové logiky. Je to jeden z nejstarších a stále nejpoužívanějších jazyků původem z USA. Při tvoření programu se využívá propojování spínacích či rozpínacích kontaktů, cívek, funkcí či funkčních bloků. Žebříčkový se jmenuje proto, protože se podobá žebříku. Má dvě svislé "koleje" znázorňující napájení a ty jsou spojeny vodorovnými příčkami. Program je vykonávám postupně po příčkách. PLC vykoná jednu příčku a poté jde na další. Program je čten zleva doprava. Jeho použití je vhodné především pro méně náročné aplikace (Balda, 2009).



Obrázek 4.5 – Příčkový diagram

4.3.4 Jazyk seznamu instrukcí (IL)

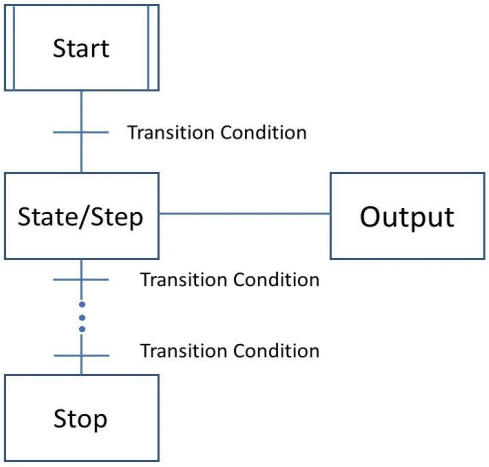
IL (Instruction List) se řadí do skupiny textových připomínající assembler. Zde není potřeba moc co dodávat, protože se zjednodušeně řečeno jedná o textový přepis příčkové diagramu jen s tím rozdílem, že má původ naopak v Evropě (TECO, 2007).



Obrázek 4.6 – Přepis příčkového diagramu do jazyku seznamu instrukcí (Sivaranjith, 2017)

4.3.5 Jazyk sekvenčního funkčního schématu (SFC)

SFC (Sequential function chart) je třetí grafický jazyk definovaný normou IEC 61131-3. Vyjadřuje chování funkcí, funkčních bloků a programů jako soubor vzájemně provázaných grafických bloků, podobně jako v elektronických obvodových diagramech (TECO, 2007).



Obrázek 10.7 – Jazyk sekvenčního funkčního schématu (Devasia, 2022)

4.4 VÝHODY A NEVÝHODY POUŽITÍ PLC

Mezi největší použití programovatelných automatů výhody patří:

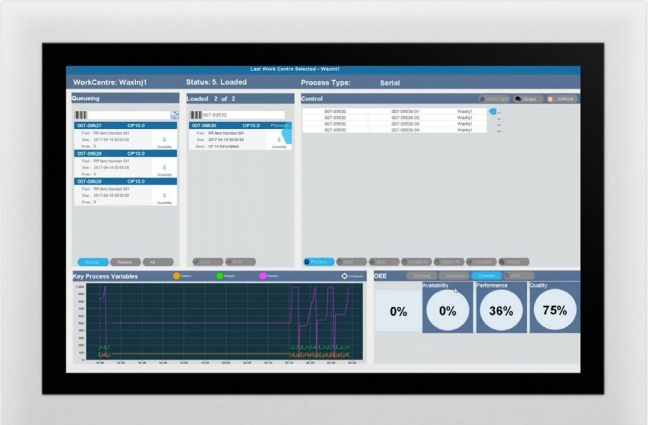
- Snadné programování – programovací jazyky nejsou zdaleka tak obtížné a dají relativně rychle naučit a pochopit.
- Vstupy/výstupy – jsou v PLC zabudované, tudíž stačí jen zapojit například snímač, se kterým se dá okamžitě pracovat.
- Vysoká úroveň spolehlivosti a nízké nároky na údržbu – odolá vyšším teplotám, prachu a hluku.
- nízká cena

Mezi nevýhody patří:

- Výměna PLC – při výměně automatu je mnohdy potřeba upravit program, v nejhorším případě vytvořit zcela nový či kompletně přepojit vstupy a výstupy.
- Kompatibilita – váže se na výměnu PLC. Každý výrobce používá svůj vlastní software.
- Může do něj být nahrán pouze jeden program.
- Nedokáže vyřešit složitější matematické úlohy (Prasanna, 2022).

4.5 HMI

Celým názvem human machine interface je uživatelské rozhraní mezi člověkem a strojem. V praxi se jedná o ovládací panely nebo obrazovky, které komunikují především s programovatelným automatem. Slouží pro monitorování a také ovládání procesů reálném čase, diagnostiku problémů a vizualizaci dat. Každý výrobce má svůj vlastní PC software, prostřednictvím kterého je možné HMI programovat (What is HMI?, 2018).



Obrázek 4.8 – HMI (What is HMI?, 2018)

4.6 OMRON

Společnost Omron byla založena v roce 1933. Jedná se o japonskou společnost, která se zabývá výrobou a prodejem automatizačních a elektrických komponent, zařízení a systémů a zdravotnické techniky (Omron, 2022).

4.6.1 CX-One

Tato softwarová sada slouží přímo pro programovací automaty a HMI vyrobené společností OMRON. Sada obsahuje mnoho programů pro programování, oblast sítí, řízení motorů a pohonů, senzory a regulaci. Nezbytný program konkrétně pro tu práci je CX-Programmer. CX-Programmer je vývojové prostředí pro programování PLC. Obsahuje nespočet funkcí, časovače a počítače. Podporuje jazyk příčkového diagramu, strukturovaný text a sekvenční funkční diagram. Nabízí i simulaci sestaveného programu a díky vylepšeným funkcím a přiřazovaní symbolů je tvorba programu znatelně rychlejší. Trial verze je volně dostupná ke stažení na oficiálních stránkách Omronu. (Omron, 2022).

5. MATEMATICKÝ VZOREC

Podmínkou pro správnost výpočtu je použití lineárního snímače. Aby mohlo natáčení nápravy fungovat automaticky, bylo potřeba vymyslet matematický vzorec, který se dosadí do programu. Klíčová data při sestavení vzorce jsou data pozice motoru a úhlu natočení volantu. Musely se určit rozsahy napětí při otáčení z volantu a natáčení zadní nápravy z maximálního natočení zleva doprava. Při maximálním otočení volantu doleva bylo naměřeno napětí

z lankového snímače 2 V a 10 V při otočení doprava. Pozice při maximálním natočení zadních kol doleva měla hodnotu -2000 a 2000 při natočení doprava. Byla navrhnuta tato tabulka, kde pro jednotku napětí byla přiřazená požadovaná pozice.

Tabulka 5.1 – Naměřené hodnoty

	U [V]		P (POZICE)
U_1	2	P_1	-2000
U_2	3	P_2	-1500
U_3	4	P_3	-1000
U_4	5	P_4	-500
U_5	6	P_5	0
U_6	7	P_6	500
U_7	8	P_7	1000
U_8	9	P_8	1500
U_9	10	P_9	2000

Zde je obecný vzorec pro souhlasné natáčení:

$$-P9 - \Big(\big(-P9 - (-P8)\big) * (U9 - U)\Big) = P \tag{5.1}$$

Vzorec pro nesouhlasné:

$$P1 - ((-P1 - (-P2)) * (U1 - U)) = P \tag{5.2}$$

Pro experimentální vozidlo konktrétně s těmito zjištěnými parametry byl použit tento vzorec pro souhlasné natáčení:

$$2000 - \Big(\big(-2000 - (-1500)\big) * (10 - U)\Big) = P \tag{5.3}$$

Pro nesouhlasné:

$$-2000 - \big(-500 * (2 - U)\big) = P \tag{5.4}$$

6 PRAKTICKÁ ČÁST PRÁCE

Tato kapitola se zabývá praktickou částí této bakalářské práce. Jsou zde detailněji popsané použité zařízení a jejich schémata zapojení. Dále je zde popsán postup a princip funkce režimů způsobů řízení a včetně vývojových diagramů. Pro přepínání režimů je do středového panelu zabudován obyčejný dvoupolohový přepínač, takže lze libovolně přepínat mezi režimy, aniž by bylo potřeba nahrávat program se jedním určitým režimem.

6.1 POUŽITÉ PLC

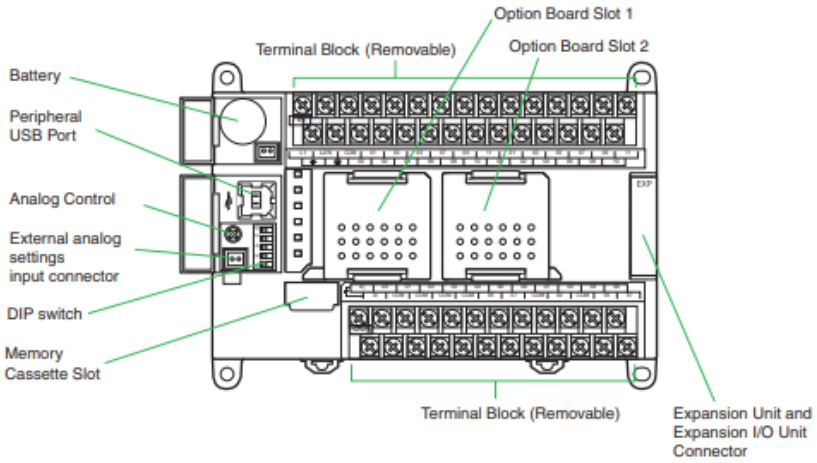
Mozkem celé operace, do kterého jsou zapojeny všechny periferie a ovládací prvky je programovatelný automat výrobce OMRON a model s označením CP1L-M40DT1-D. S následujícími parametry:

Tabulka 6.1 – Parametry použitého PLC Omron CP1L (Omron, 2022)

Zdroj napětí	24V (stejnosměrné napětí)
Počet digitálních vstupů	24
Programovací jazyk	Ladder diagram
Typ vstupů	PNP/NPN
Typ výstupů	PNP
Komunikační porty	USB
Kapacita programu	10 000 kroků
Kapacita datové paměti	32 000 kroků
Analogový vstup	1 (Rozlišení: 1/256, Vstupní rozsah: 0 až 10 V).
Podporovaný software	CX-one

Jedná se o základní a levnější model, který je ovšem pro tuto úlohu dostačující. Nevýhodou může být to, že jediný podporovaný programovací jazyk je zde jen ladder diagram, takže problémem mohou být například složitější matematické výpočty a operace. Software, kterým lze s programovatelným automatem komunikovat je CX-Programmer, který je přímo od Omronu. Programováni v něm není nikterak složité, ale práce v něm může být zpočátku pro

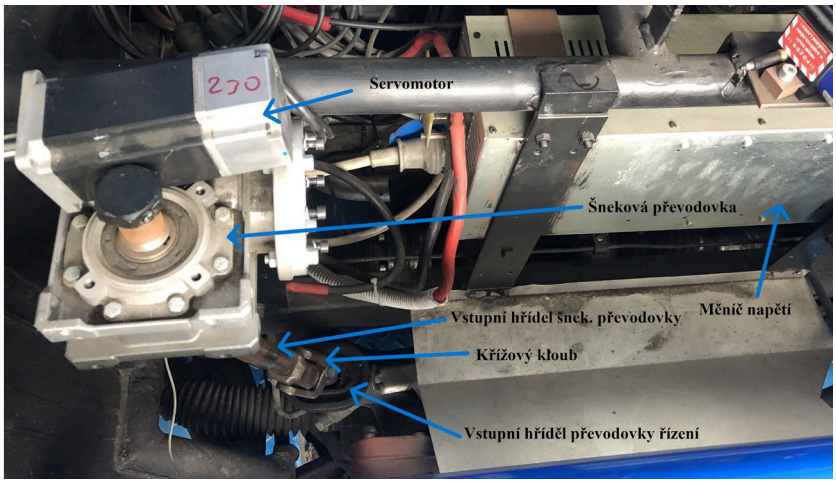
spoustu lidí matoucí. Je napájeno ze dvou paralelně zapojených 12 V baterií a je umístěno v rozvodové skříni viz obrázek 1.4.



Obrázek 6.1 – Omron CP1L (Omron, 2020)

6.2 POUŽITÉ POHONY

Pro natáčení zadní nápravy je použit servomotor. Servomotor je pro tuto práci vhodný, protože lze dle potřeby měnit přesně polohu natočení. Ovšem pro natočení kol je potřeba tento otáčivý pohyb přeměnit na úhlový pohyb. K tomuto úkonu je použita šneková převodovka. Ze šnekové převodovky vede výstupní hřídel, která vede do křížového kloubu a ten je napojen na vstupní hřídel převodovky řízení zadní nápravy. Servomotor je řízen servo driverem umístěným ve rozvaděči. Je to zařízení, které ve pomáhá ovládat polohu, rychlost a točivý moment servomotoru. Driver a servomotor spolu komunikují a na základě zpětné vazby je možné určit polohu otočení. Motor a jeho driver je napájen střídavým napětím 230 V, které jsou převedeny z měniče napětí měniče napětí.



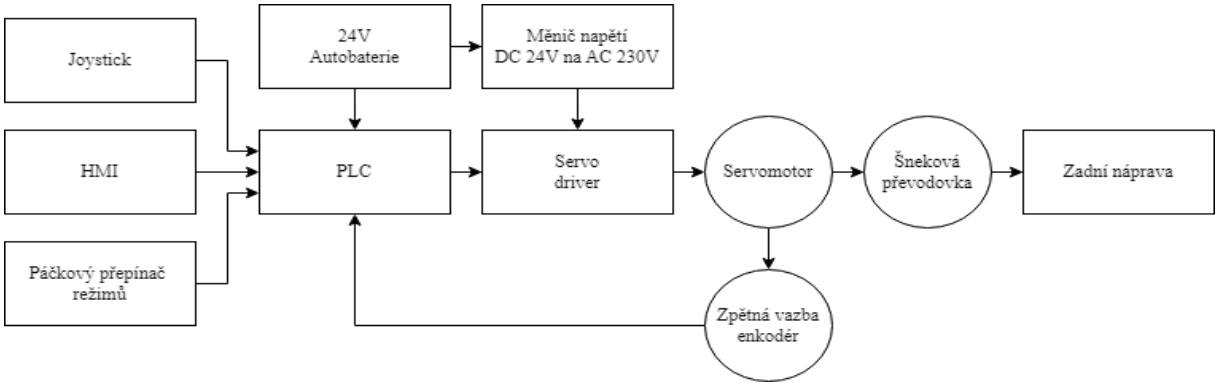
Obrázek 6.2 – Pohony pro natáčení kol

6.3 MANUÁLNÍ OVLÁDÁNÍ

První režim řízení natáčení zadní nápravy je režim manuální. Natáčení zadní nápravy je ovládáno digitálním pákovým ovladačem, který je zabudován do středového panelu a připojen do PLC. Ovladačem lze hýbat jen po jedné ose, a to buď doleva anebo doprava a podle toho se kola natáčí. Velkou nevýhodou tohoto řešení je to, že například během řazení řadící pákou nelze zároveň ovládat natáčení, protože je to z anatomie lidského hlediska nemožné. Tento režim tedy není vhodný do běžného provozu, ale především do menších rychlostí, nebo při ustálené rychlosti, kde není potřeba řadit. Jedná se spíše o takový prototyp a demonstraci toho, jak může natáčení kol zadní nápravy vypadat.

6.3.1 Blokové schéma zapojení

Blokové schéma znázorňuje, jak jsou do sebe zapojeny všechny komponenty pro manuální řízení



Obrázek 6.3 – Schéma zapojení

6.3.2 Proměnné programu

Tabulky proměnných programu, které jsou použity při sestavení programu. Proměnné v CX-Programmer jsou rozděleny na 3 typy:

- Vstupní proměnné
- Výstupná proměnně
- Vnitřní proměnné

Tabulka 6.2 – Vstupní proměnné

Jméno proměnné	Datový typ	Adresa	Komentář
BQ2_A	BOOL	0.00	Axis enable
BQ2_B	BOOL	0.01	Inkrement BQ2 – Faze B
BQ2_Z	BOOL	0.04	Inkrement BQ2 – Z puůs
BQ3_A	BOOL	0.02	Inkrement BQ3 – Faze A
BQ3_B	BOOL	0.03	Inkrement BQ3 – Faze B
BQ3_Z	BOOL	0.05	Inkrement BQ3 – Z puls
BQ4_ref	BOOL	0.10	Servo-reference
BQ5	BOOL	1.00	Predni osa-refence(stred)
BQ6	BOOL	1.01	Servo-Limitni cidlo vlevo
BQ7	BOOL	1.02	Servo-Limitni cidlo vpravo
M1_Err	BOOL	0.09	Servo-alarm
M1_Phase_Z	BOOL	0.06	Servo-fáze Z(puls ze serva)
M1_st_ServoInPos	BOOL	0.08	Servo-status
Nap_24V	BOOL	1.06	24V DC
Nap_230V	BOOL	1.05	230V AC
SB8_L	BOOL	1.03	Joystick-vlevo
SB8_R	BOOL	1.04	Joystick-vpravo

Tyto proměnné jsou přiřazeny vstupním zařízením zapojeným do vstupního modulu programovatelného automatu. Zpravidla ovládají výstupní proměnné. Jedná se především o servomotor, všechny snímače a joystick.

Tabulka 6.3 – Výstupní proměnné

Jméno proměnné	Datový typ	Adresa	Komentář
M1_EC_Reset	BOOL	100.04	Servo-Error counter reset output
M1_Reset	BOOL	101.01	Servo-Reset
M1_Smer_CCW	BOOL	100.01	Směr otačení CCW
M1_Smer_CW	BOOL	100.00	Směr otačení CCW
M1_Zap	BOOL	101.00	Servo-Zapnout

Výstupní proměnné jsou ty, které se dají ovládat pouze pomocích vstupů.

Tabulka 6.4 – Vnitřní proměnné

Jméno proměnné	Datový typ	Adresa	Komentář
CW_limit	BOOL	A540.08	CW Limitni signal
Inic_Servo	BOOL	W10.00	Servo-inicializace
M1_Servo_ParRychACC	UDINT	D10	Servo-parametr pro rychlost ACC
Pos_comp	BOOL	A540.10	Positioning competed
Pov_Servo	UINT	W10	Povely-Servo
S_ServoCCW	BOOL	W10.02	Servo-SmerCCW
S_ServoCW	BOOL	W10.01	Servo-SmerCW
Servo_ACC_AccDecc	UINT	D2010	Servo- Zrychlení/Zpomaleni
Servo_ACC_AccDecc	UDINT	D2011	Servo-Rychlost
Servo_JogSpeed	UDINT	D2020	Servo-Ryhlost pro Jog
Servo_ProgOrigin	BOOL	W10.10	Servo-Programova reference nas
Servo_S_ActPosition	DINT	D3000	Servo-Aktuální pozice
Servo_S_InPosition	BOOL	W500.00	Servo-Servo je v pozici
Servo_S_NoOrigin	BOOL	A280.06	Servo-Není astavena reference
Servo_S_Origin	BOOL	w500.01	Servo-Reference nastavena
Servo_S_PulsCompleted	BOOL	A280.03	Servo-Puls vstup negeneruje puls
Servo_Temp	UDINT	D2030	Servo-Pomocna promenna

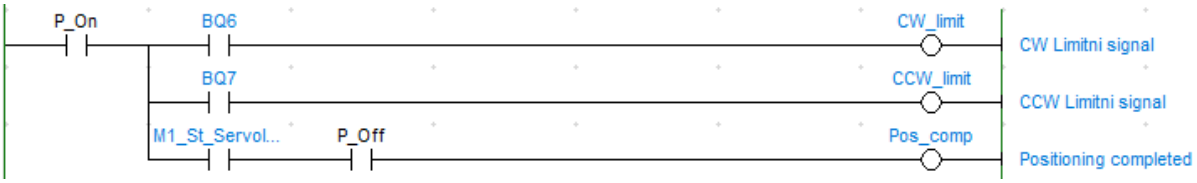
Vnitřní proměnné slouží především k uložení hodnot, jejich porovnávání a různým matematickým operacím.

6.3.3 Ukázka programu manuálního řízení

Jsou zde ukázány některé instrukce a funkce programu pro manuální řízení, které jsou pro manuální řízení klíčové. Příčky příčkového diagramu jsou ve formě obrázků a pod každým obrázkem je popis funkce dané příčky a jaký má pro práci význam.

Obrázek 6.4 – Inicializace serva po zapnutí PLC

Po zapnutí PLC se zavolá inicializační funkce. Ta je nezbytná pro další řízení polohy servomotoru. Tento příkaz se vykoná pouze jednou a pak už jen při dalším zapnutí programovatelného automatu.



Obrázek 6.5 – Přenesení signálu do systémových bitů

Zavedení limitních signálů maximálního natočení vpravo a vlevo do programu. Kola se mohou natočit jen do určité polohy, maximální úhel natočení obvykle bývá mezi 30° až 45°. Při dosažení tohoto úhlu je tedy důležité, aby čidla servomotoru poslaly signál, aby už nepokračoval nadále v pohybu za limit. Došlo by totiž k poruše zadní nápravy a stejně tak motoru.

Obrázek 6.6 – Pozice serva

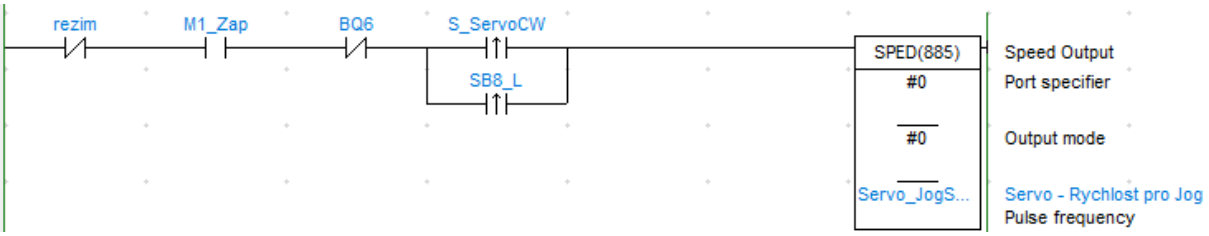
Čítač označením High-Speed Counter snímá signály inkrementálních čidel polohy servomotoru, výstupem je tedy vždy aktuální hodnota polohy datového typového typu DINT uložená do proměnné Servo_S_ActPosition.

Obrázek 6.7 – Joystick vlevo

Tato příčka se vykoná, když se hýbne joystickem doleva a trvá až do doby, dokud joystick nezmění směr. Její funkce je tedy zjistit, kdy je joystickem hýbnuto doleva. Proměnná pro hýbnutí joysticku doleva je SB8_L. Detekovat je samozřejmě i hýbnutí doprava, v programu je příčka vyřešena úplně stejným způsobem jako zde na Obr. 38 jen s tím rozdílem, že místo proměnné SB8_L se dosadí proměnná SB8_R pro hýbnutí joysticku doprava.

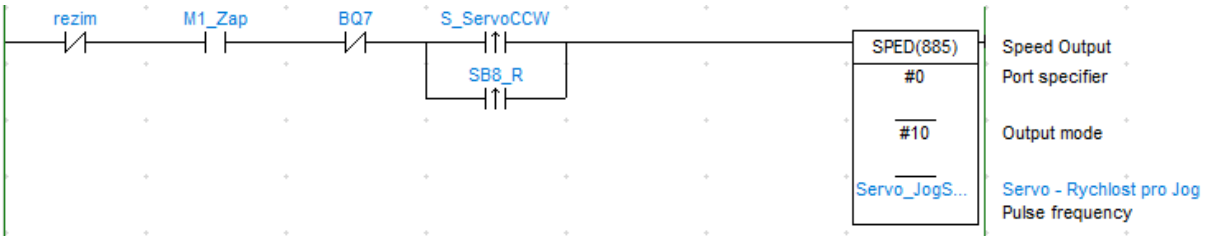
Obrázek 6.8 – Joystick vlevo stop

Tak jako bylo potřeba detekovat, jakým směrem se joystickem hýbnulo, je důležité též zjistit, že se pustí a vrátí na výchozí pozici doprostřed. V opačném případě by i po puštění joysticku stále program nezjistil, že už není joystick v poloze nalevo stále by pokračoval v detekovaní hýbnutí směrem doleva. Totéž je nezbytné pro opačný směr čili je opět místo proměnné SB8_L dosazena proměnná SB8_L.



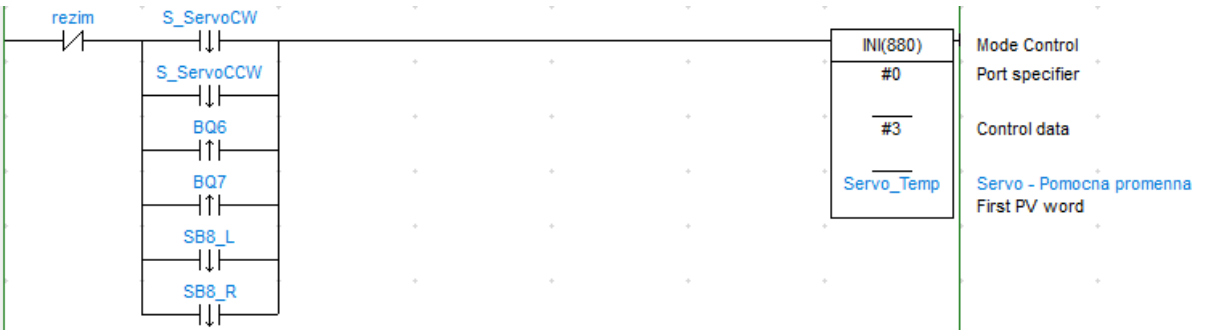
Obrázek 6.9 – Směr CW (vlevo)

Dostáváme se k samotnému natáčení kol. Při hýbnutí joystickem doleva se zadní kola tímto směrem začnou natáčet. Natáčení probíhá do doby, dokud není dosaženo limitu natočení doprava snímané čidlem BQ6, dokud je joystickem hýbnuto doleva, aniž by bylo dosaženo limitu anebo dokud není joystickem hýbnuto do jiné polohy.



Obrázek 6.10 – Směr CCW (vpravo)

Natáčení kol do pravé strany probíhá obdobně jako do levé. Rozdílem je jen pohyb joysticku na pravou stranu či limitní čidlo pro maximální úhel natočení kol do pravé strany.

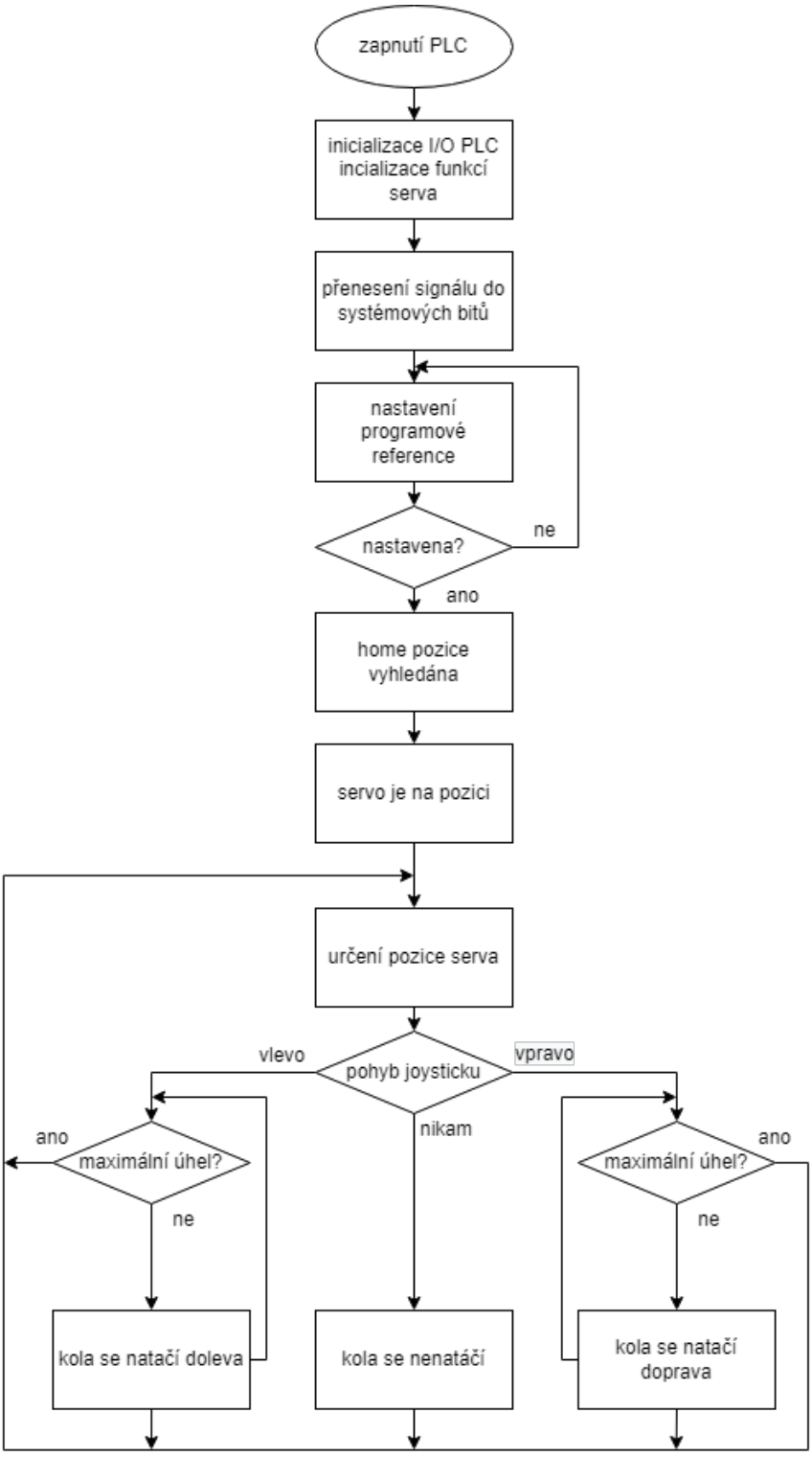


Obrázek 6.11 – Servo stop

Tato příčka je pro stopnutí otáčení hřídele servomotoru a v důsledku toho i natáčení kol. Stane se tak v případech, kdy čidla BQ6 a BQ7 detekují maximální možná úhel natočení kol doleva či doprava, puštěním joysticku do výchozí pozice či změnou směru serval, kdy se nejdřív na chvilku zastaví a pak pokračuje již v natáčení do opačného směru.

6.3.4 Vývojový diagram

Vývojový diagram znázorňuje jednotlivé kroky vykonávání programu manuálního řízení od zapnutí PLC až po natáčení kol se snímáním polohy díky zpětné vazbě.



Obrázek 6.12 – Vývojový diagram manuálního řízení

6.4 AUTOMATICKÉ OVLÁDÁNÍ

Druhý režim a ten nejpodstatnější. Zde je už natáčení zadní nápravy zautomatizované. Program je navržen tak, aby na základě úhlu natočení volantu, na kterém je upevněno lanko lankového snímače a aktuální rychlosti, se automaticky natáčela zadní kola. Není potřeba za jízdy se zbytečně zatěžovat ovládací páčkou, a tudíž se lze v klidu věnovat řízení.

6.4.1. Výběr snímače polohy

Pro tuto práci byl použit lankový snímač polohy WDS-500-P60-CR5-P s analogovým výstupem od výrobce Micro-Epsilon. Maximální délka lanka je 500 mm a rozsah měření je tedy 0-500 mm. Ze snímače je vyvedeny 3vodičový kabel. Jeden vodič pro vstupní napětí, které je 24 V a je napájen přímo z PLC, druhý je uzemňovací připojení na svorce GND na PLC a třetí signální je připojený na analogový vstup PLC. Měří lineárně v celém rozsahu měření, a proto je velice přesný. Měřícím prvkem je hybridní potenciometr. Konec lanka je zachycen na volantové hřídeli. Otáčením volantu se navíjí či odvíjí lanko, a to má za důsledek změnu napětí na výstupu. Když se promýšlelo umístění snímače, bylo zváženo několik možností. První možností bylo umístit snímač na vnější stranu dveří na přísavném držáku. Ale to řešení se shledalo jako velice nepraktické a bylo prakticky hned smeteno ze stolu. Snímač by nebezpečně vyčníval ze dveří, navíc lanko bylo moc krátké, jelikož při maximálním natažení lanka je výstupní napětí okolo 13 V a analogový vstup programovatelného automatu umožnuje maximální vstupní napětí pouze 10 V. Mnohem lepší a logičtější řešení je proto snímač připevnit napevno někam do interiéru. Například do palubní desky hned u volantu, kde nikterak nepřekáží a zároveň je vyřešen problém ohledně délky lanka.

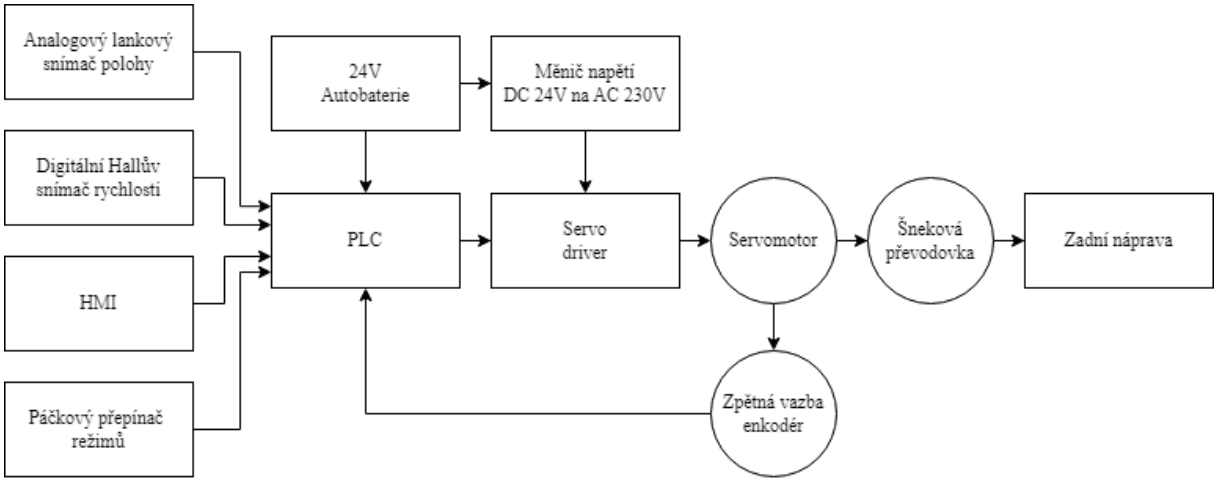
Obrázek 6.13 – Použitý snímač WDS

6.4.2 Výběr snímače rychlosti

Měření rychlosti má zde na starost pulzní snímač ujeté vzdálenosti založen na hallově principu. Jedná se o snímač s digitálním výstupem. Výstupem jsou puls, který trvá po dobu celého otočení kola. Z časového intervalu mezi pulzy lze a obvodu kola lze určit rychlost vozidla. Tento snímač je uložen ve vačkové hřídeli experimentálního automobilu. Je napájen 12 volty z autobaterie, signální vodič je zapojen do digitálního vstupu PLC 1.09 a uzemňovací vodič je připojen do svorkovnice GND na PLC.

6.4.3 Blokové schéma zapojení

Blokové schéma znázorňující zapojení všech použitých komponentů pro automatické řízení.



Obrázek 6.14 – Blokové schéma zapojení automatického režimu

6.4.5 Proměnné programu

Tabulka 6.5 – Vstupní proměnné

Jméno	Datový typ	Adresa	Komentář
rezim	BOOL	1.09	Packovy prepinac
snimacrychlosti	BOOL	1.08	Hallův snímač
BQ7	BOOL	1.02	Servo-Limitni cidlo vpravo
BQ6	BOOL	1.01	Servo-Limitni cidlo vlevo
M1_St_ServoInPosition	BOOL	0.08	Servo-Status-In position

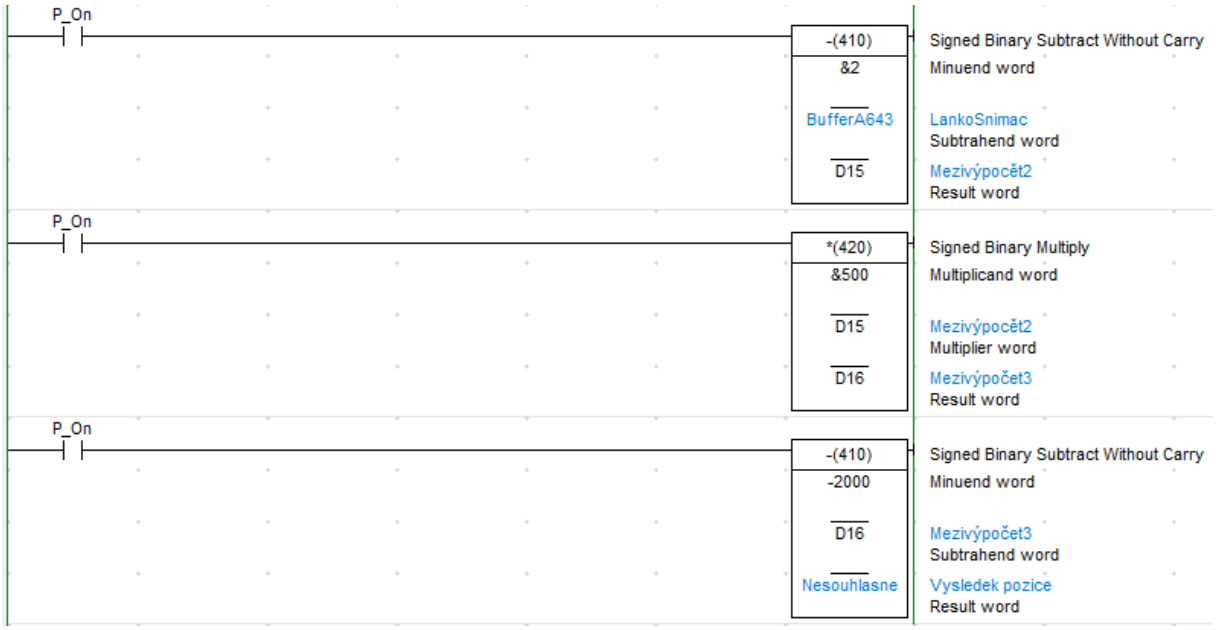
Tabulka 6.6 – Vnitřní proměnné

Jméno	Datový typ	Adresa	Komentář
BufferA643	CHANNEL	D10	LankoSnimac
M1_Servo_ParRychACC	UDINT	D10	Servo - parametr rychlost pro ACC
Nesouhlasne	CHANNEL	D17	Vysledek pozice
Souhlasne	CHANNEL	D18	Vysledek pozice2
acc	DINT	D100	Akcelerace
deacc	DINT	D101	Zpomaleni
trgtf	DINT	D102	PozadovanaFre
numpuls	DINT	D104	Pocet implusu
startfreq	DINT	D106	Pocatecni frekvence
MezVypoc2	CHANNEL	D15	Mezivýpočět2
MezVypoc3	CHANNEL	D16	Mezivýpočet3
PT1	BOOL	W3.01	post trigger1
PT2	BOOL	W4.01	post trigger2
OnPos2	BOOL	W4.02	Na pozici2
OnPos1	BOOL	W3.02	Na pozici1

Vstupní proměnné tvoří v programu největší část použitých proměnných. To proto, protože v automatickém řízení je využíváno hodně matematických operací, pomocí kterých se vypočítává například požadovaná poloha hřídele servomotoru.

6.4.6 Ukázka částí programu

V této kapitole jsou ukázány části programu, které vykonávají ty nejdůležitější úlohy při automatickém ovládaní zadní nápravy.

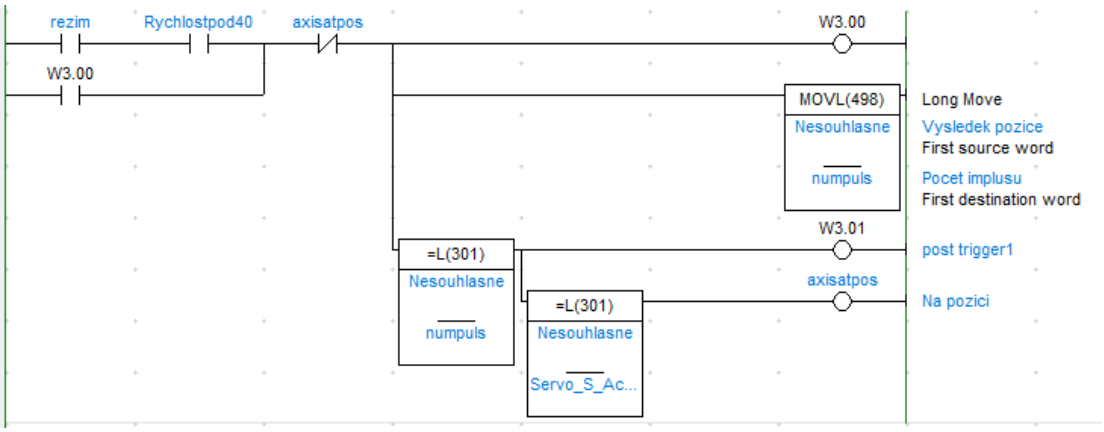


Obrázek 6.15 – Výpočet hodnoty polohy pro natočení kol

V ladder diagramu bohužel není možné bohužel vyřešit delší rovnici, proto je výpočet rozdělen na 3 části. Konkrétně byla řešena rovnice 5.4 nesouhlasné natáčení kol. První příčka odečítá číslo z lankového snímače od čísla 2. Druhý výpočet násobí číslem 500 předešlý výsledek z první příčky a ve třetí příčce se od čísla -2000 odečte výsledek z druhé příčky. Finálním výsledkem je tedy hodnota, které se zapíše do proměnné „Nesouhlasne“. Tato výsledná hodnota je požadovaná pozice servomotoru.

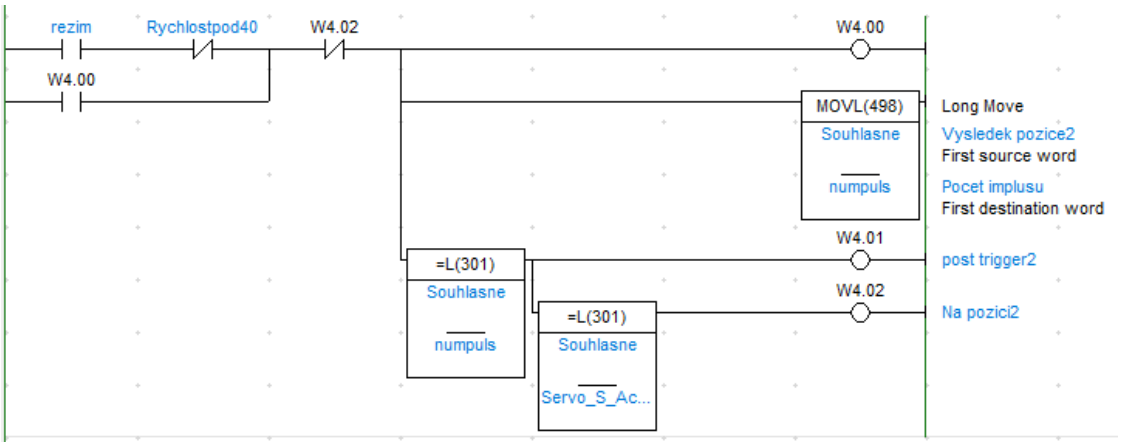
Obrázek 6.16 – Výpočet hodnoty polohy pro souhlasné řízení

Řešení výpočtu pro souhlasné ovládání nebylo nikterak složité. Zde se jen výsledná hodnota pro nesouhlasné řízení vynásobila číslem -1.



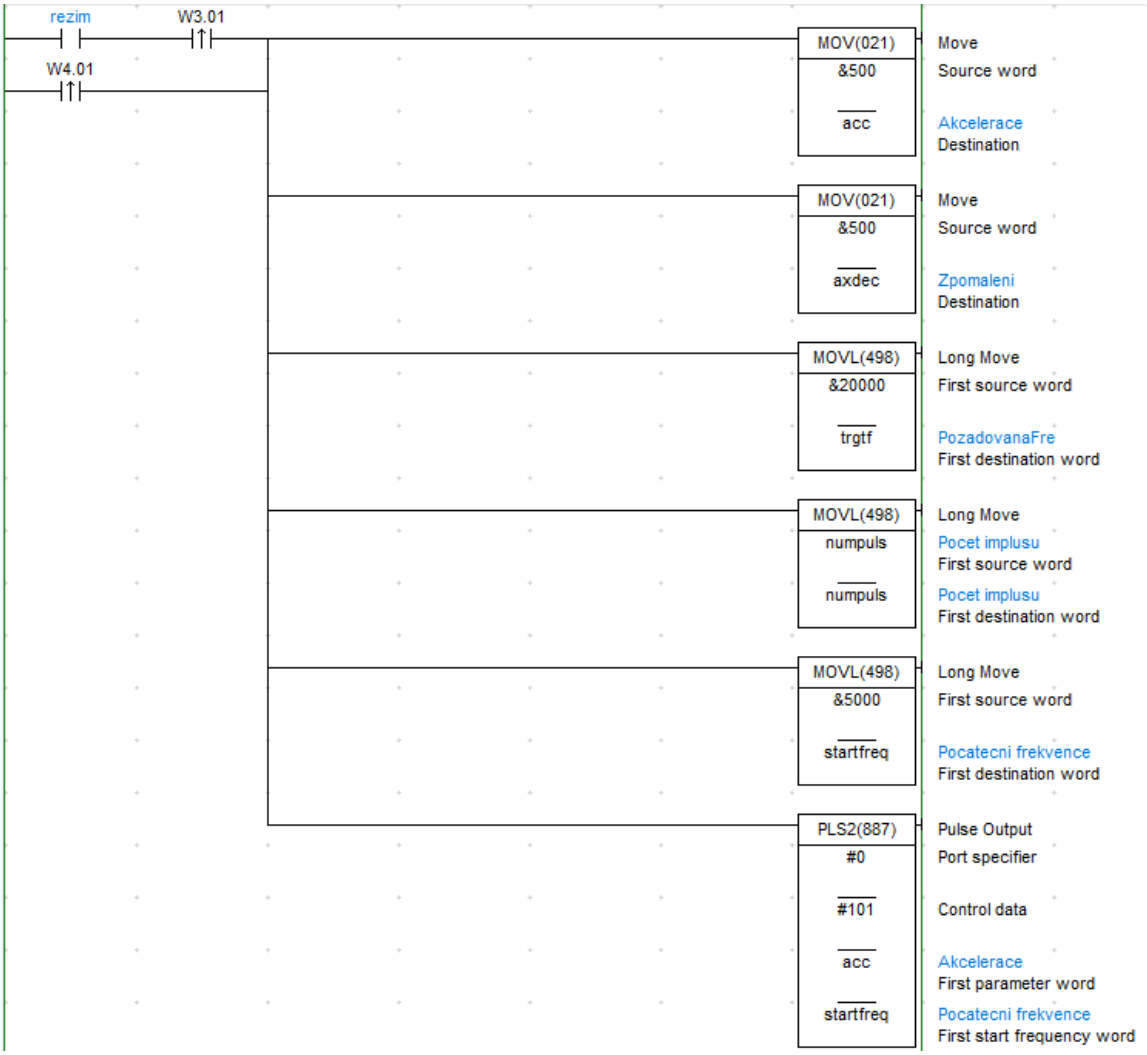
Obrázek 6.17 – Natáčení kol nesouhlasně do určené polohy

Nejsložitější úloha celého řízení natáčení kol. Funkce je podmíněna přepnutím páčkového snímače na režim automatický. Dalším faktorem je rychlost, které v případě nesouhlasného natáčení nesmí přesáhnout 40 kilometrů za hodinu. Funguje to tak, že se servomotor snaží dosáhnout požadované pozice, jejíž výpočet je na Obrázku 5.15.



Obrázek 6.18 – Natáčení kol souhlasně do určené polohy

Pro souhlasné ovládaní je potřeba naopak vyšší rychlost než zmíněných 40 kilometrů za hodinu. Princip je totožný jako u nesouhlasného řízení, jen se kola natáčí přesně naopak.

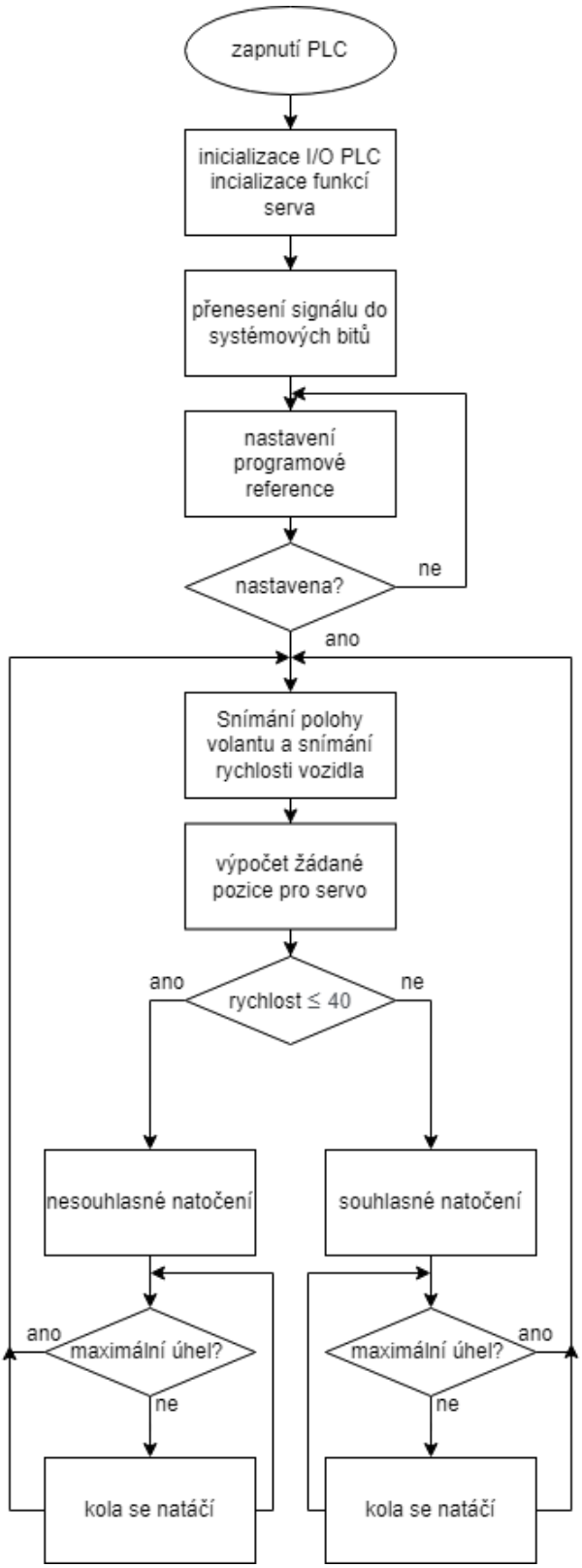


Obrázek 6.19 – Nastavení parametrů

Tato série příkazu slouží k upravení parametrů servomotoru. Prvním možností je upravení akcelerace servomotoru. Čím větší hodnota, tím je akcelerace vyšší. Další z mnoha možností je možnost zpomalení servomotoru. V neposlední řádě lze měnit frekvenci a tím pádem rychlost otáček. Čím větší je frekvence, tím se bude motor otáčet rychleji. Při nastavovaní parametrů je potřeba přistupovat s rozumem. Příliš vysoké zrychlení a otáčky motoru mohou být velmi nebezpečné při řízení vozidla.

6.4.7 Vývojový diagram

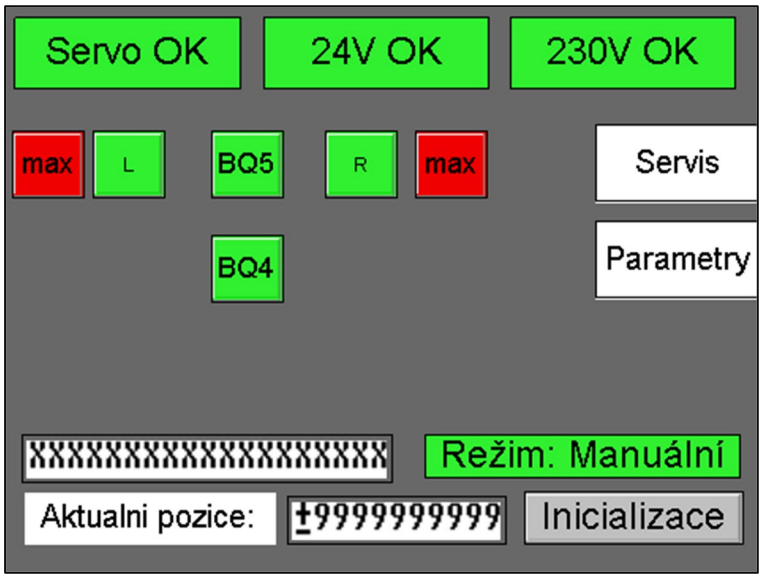
Vývojový diagram funkce automatického ovládání vozidla.



Obrázek 6.20 – Vyvojový diagram automatického režimu

6.5 ZOBRAZENÍ INFORMACÍ NA HMI

Do středového panelu místo rádia je zabudovaný HMI panel Omron NQ3-TQOO-B. Jeho funkce je zde zobrazovat důležité parametry systému. Jeho rozměr je pouhých 3,5 palců. Panel na horní části zobrazuje stav servomotoru, 24V stejnosměrného napájení z paralelní baterie a střídavého napětí z převodníku napětí 230V, který napájí servomotor. Pod těmito stavy jsou indikátory směry pohybu joysticku a tím pádem i zadní nápravy s aktuálním směrem natočení kol s limitními čidly (max) maximálního úhlu natočení. Dále pak se pak v prostřední nacházejí indikátory středu přední osy (BQ5) a zadní osy (BQ4), počáteční reference motoru, zvolený režim ovládání zadních kol a aktuální pozice servomotoru a v neposlední řade možnost změnit rychlost otáček servomotoru.



Obrázek 6.21 – Desing ovládání panelu

ZÁVĚR

Cílem práce je návrh a realizace řídicího systému pro řízení natočení kol zadní nápravy experimentálního automobilu DFJP v režimu manuálním a automatickém. V režimu manuálním bude natáčení kol zadní nápravy ovládáno pákovým ovládačem a v režimu automatickém bude natočení kol zadní nápravy vycházet z natočení kol přední nápravy a aktuální rychlosti vozidla.

V teoretické časti jsou uvedené a popsány systémy experimentálního automobilu. Dále se teoretická část zabývá stručnou rešerší elektrických pohonech, snímačů a programovatelných automatů a sestavením matematických vztahů pro automatické natáčení.

Praktická část se zabývá realizací režimů řízení. Jsou zde představené použité snímače včetně jejich funkce a připojení. Následuje pak ukázka jednotlivých příček programu s jejich popisem.

Manuální režim vozidla funguje efektivně, podle pohybu páčkovým přepínačem se kola natáčí buď doleva nebo doprava. Nevýhodou tohoto režimu je ovládání především u aut s manuální převodkou, kde je obsluha řadící páky zároveň a přepínače pro řidiče velmi nepříjemná. Tento problém by se dal do budoucna vyřešit a vylepšit umístěním tlačítek přímo na volant a řidič by tak ani nemusel dávat ruce pryč z volantu či řadící páky.

V automatickém režimu se otáčí do pozice, která je vypočítaná z dat lankového snímače, jehož lanko je upevněno na hřídeli volantu a směr je podmíněn rychlostí. Kola se otáčí nesouhlasně do rychlosti přibližně 40 $km \cdot h^{-1}$ a po překročení této rychlosti souhlasně. Výhodou je, že řidič nemusí nic obsluhovat a stačí jen zatáčet volantem. Problém nastává, když není lankový snímač dostatečně upevněn anebo v případě toto práce vyjímán a používán personálem DFPJ i na jiná měření a už není znovu připevněn na úplně stejnou pozici. Změní se tak signální napětí a je potřeba v programu přepsat parametry pro výpočet polohy natočení kol.

Dalším vylepšením do budoucna je rozšíření ovládání a nastavování všech parametrů HMI panelem, který doposud víceméně jen monitoroval pozici a směr servomotoru.

SEZNAM LITERATURY

4WD: Four Wheel Drive. *Zakruta.cz* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: https://www.zakruta.cz/slovnik-pojmu/pojem/4ws/

4WS: Four Wheel Steering, systém aktivního natáčení zadních kol, řiditelná zadní náprava. *Zakruta.cz* [online]. [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: https://www.zakruta.cz/slovnik-pojmu/pojem/4ws/

ABB CZECH REPUBLIC. *Teorie stejnosměrných motorů* [online video]. 2019 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=4buteEXrrCA

ABB CZECH REPUBLIC. *Teorie střídavého motoru* [online video]. 2019 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=dhYSffjj414

AGARWAL, Tarun. *Inductive sensor: Working Principle and its applications* [online]. Haidarábád, 2019 [cit. 2022-12-01]. Dostupné z: https://www.elprocus.com/inductive-sensor-working-applications/

BALDA, Pavel, 2009. *Informační a řídicí systémy I.: Programování PLC II. – IEC 61131-3* [online]. Plzeň [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://vendulka.zcu.cz/Download/Free/IRS1/IRS1-03_IEC_2.pdf

BRLE, Pavel a Jiří PAVLENKA, 2016. *ELEKTRICKÉ POHONY A JEJICH ŘÍZENÍ*. 3. Praha: ČVUT. ISBN 978-80-01-06007-0.

DEVASIA, Anish, 2022. *An Overview of Sequential Function Chart (SFC) PLC Programming* [online]. Control [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://control.com/technical-articles/an-overview-of-sequential-function-chart-sfc-programming/

DUSIL, Tomáš. *Aktivní řízení 4WS slaví 30 let: Všemi čtyřmi brzdit, všemi čtyřmi řídit!* [online]. 2017 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: https://www.auto.cz/aktivni-rizeni-4ws-slavi-30-let-vsemi-ctyrmi-brzdit-vsemi-ctyrmi-ridit-108507

ELUC. *Rozdělení indukčních strojů* [online]. [cit. 2022-12-23]. Dostupné z: https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/774?fbclid=IwAR1dZsfZadnmvOozNhDf_7Oka1URFnIIXb

Experimentální vozidlo (4WD + 4WS) Oddělení silničních vozidel [online]. Pardubice: Univerzita Pardubice [cit. 2022-11-29]. Dostupné z: https://dfjp.upce.cz/dfjp/kdpd/o-katedre/experimentalni-vozidlo.html

HALLOVY SNÍMAČE [online]. Tábor: BRISK Tábor [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.brisk.cz/katalogy/snimace/snimani-otacek/hallovy-snimace

HRON, Tomáš. *Nezávislé zatáčení kol zadní nápravy experimentálního vozidla* [online]. Pardubice, 2019 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/73329/HronT_NezavisleZataceni_PJ_2019.pdf?seq

uence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Ing. Petr Jílek, Ph.D.

INDUKTIVNÍ SNÍMAČE [online]. Tábor: BRISK Tábor [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.brisk.cz/katalogy/snimace/snimani-otacek/induktivni-snimace

JOST, Danny, 2019. *What is a Hall Effect Sensor?* [online]. [cit. 2022-12-01]. Dostupné z: https://www.fierceelectronics.com/sensors/what-a-hall-effect-sensor

KEVIN, 2022. *4-Wheel Steering Systems* [online]. Oards [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://oards.com/four-wheel-steering-system-info/

Krokový motor – princip [online], 2012. mylms.cz [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.mylms.cz/krokovy-motor-princip/

LACKEY, Bill, 2018. *What's the Difference Between Servo and Stepper Motors?* [online]. [cit. 2022-12-19]. Dostupné z: https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21836868/whats-the-difference-between-servo-and-stepper-motors

MARTINÁSKOVÁ, M. 2001. *PLC – programovatelné automaty*. ČVUT-FSI [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: http://slideplayer.cz/slide/2535859/

Měnič frekvence. 2022. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Měnič_frekvence

MICRO-EPSILON. *Draw-wire displacement sensors* [online]. Ortenburg: MICRO-EPSILON [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.micro-epsilon.cz/download/products/cat--wireSENSOR--en.pdf

OMRON. *CP1L CPU Units (M Type) with 40 Points* [online]. 2020 [cit. 2022-12-23]. Dostupné z: https://assets.omron.com/m/403180c254de9134/original/CP1L-Datasheet.pdf

PETER, 2018. *Function Block Diagram (FBD)* [online]. PLC Academy [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.plcacademy.com/function-block-diagram-programming/

PRASANNA. *PLC Advantages and Disadvantages | What is Programmable Logic Controller (PLC)? How does it Work?* [online]. 2022. [cit. 2022-11-21]. Dostupné z: https://cbselibrary.com/plc-advantages-and-disadvantages/

Princip stejnosměrných motorů [online]. ProfiElektrika [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://elektrika.cz/data/clanky/princip-stejnosmernych-motoru

ROBERT BOSCH GMBH, nedatováno. *Speed Sensor Hall-Effect HA-M* [online]. [cit. 2022-12-01]. Dostupné z: https://www.bosch-motorsport.com/content/downloads/Raceparts/en-GB/53202827208226187.html

Servo Motor Overview: Structure of Servo Motors [online]. ORIENTAL MOTOR USA, 2022 [cit. 2022-12-19]. Dostupné z: https://www.orientalmotor.com/servo-motors/technology/servo-motor-overview.html

SEVERSON, Aaron, 2015. *Four-wheel steering demystified: A flashback to 4WS systems* [online]. [cit. 2022-11-21]. Dostupné z: https://www.autoweek.com/car-life/a1871191/four-wheel-steering-demystified/

SIVARANJITH, 2017. *Instruction list programming tutorial* [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://forumautomation.com/t/instruction-list-programming-tutorial-basic-ladder-logic-program-converted-to-instruction-list-program-used-in-micrologix/2666

Společnost OMRON, 2022. *CP1L-M40DT1-D* [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://industrial.omron.cz/cs/products/CP1L-M40DT1-D

Společnost OMRON, 2022. *CX-Programmer* [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://industrial.omron.cz/cs/products/cx-programmer

Společnost OMRON, 2022. *Informace o společnosti* [online]. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://industrial.omron.cz/cs/company-info

Stroj synchronní [online]. [cit. 2022-12-22]. Dostupné z: https://leporelo.info/stroj-synchronni

ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. *PLC a automatizace.* 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 1999, 223 s. ISBN 80-860-5658-9

TECO, 2007. *Programování PLC podle normy IEC 61 131-3 v prostředí Mosaic* [online]. 10 vyd. Kolín [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00321_01_mosaic_progiec_cz

VOJÁČEK, A. 2011. Automatizace.HW.cz. Automatizace.HW [online]. [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/lankovy-snimac-micro-epsilon-mk88-pro-vzdalenosti-az-5-m.html

What is HMI?. *Inductive automation* [online]. Folsom, 2018 [cit. 2022-12-14]. Dostupné z: https://www.inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi

Základní principy krokových motorů. *Portál pro strojní konstruktéry* [online]. Brno: Nová média, 2013 [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: https://e-konstrukter.cz/novinka/zakladni-principy-krokovych-motoru

PŘILOHY

A – CD

Příloha A

Příloha k bakalářské práci

Řízení natočení kol zadní nápravy automobilu

Petr Douša

CD

Obsah

1 Text bakalářské práce ve formátu PDF.

2 Úplný program žebříčkového diagramu pro PLC (CX-Programmer)

3 Úplný program pro HMI (NQ-Designer)