

Univerzita Pardubice

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Řízení laboratorního modelu pomocí Siemens Simatic S7-1200

Bakalářská práce

2023

Adam Boháč

PROHLÁŠENÍ

Práci s názvem Řízení laboratorního modelu pomocí Siemens Simatic S7-1200 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., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, 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. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 08.05.2023

Adam Boháč v. r.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Liborovi Kupkovi, Ph.D. a panu Ing. Liborovi Havlíčkovi, Ph.D. za přínosné konzultace, cenné rady a podněty k řešení dané problematiky. Děkuji své přítelkyni, že mi každý den věrně připomínala, že tímto tempem to nikdy nenapišu. Také chci poděkovat své rodině a přátelům za nikdy neutichající podporu při studiu.

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Adam Boháč**
Osobní číslo: **I20033**
Studijní program: **B0714A150008 Automatizace**
Téma práce: **Řízení laboratorního modelu pomocí Siemens Simatic S7-1200**
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je realizovat řízení zvoleného laboratorního modelu pomocí PLC Siemens Simatic S7-1200 s dotykovým HMI panelem.

Teoretická část: Stručná rešerše problematiky týkající se logického řízení a programovatelných logických automatů, popis problematiky řízení systémů pomocí PLC a možností programování PLC. Návrh řídicího systému laboratorní soustavy s využitím PLC.

Implementační část: Instalace softwaru pro programování PLC a simulaci a vizualizaci úlohy. Vytvoření programu pro PLC realizujícího řízení laboratorního modelu a tvorba software pro HMI ovládací panel.

Rozsah pracovní zprávy: **40 – 50 stran**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

ŠMEJKAL, L.; MARTINÁSKOVÁ, M. 2002. PLC a automatizace 1: základní pojmy, úvod do programování. Praha: BEN – technická literatura. ISBN 80-86056-58-9.
ŠMEJKAL, L. 2005. PLC a automatizace 2: sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky. Praha: BEN – technická literatura. ISBN 80-7300-087-3.
MARTINÁSKOVÁ, M. 2004. Programovací jazyky pro PLC. Automatizace, ročník 47, č. 6, s. 380. ISSN 0005-125X.
BALÁTĚ, J. 2004. Automatické řízení. 2 vyd. Praha: BEN – technická literatura. 663 s. ISBN 80-7300-148-9.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Kupka, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **16. prosince 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **12. května 2023**

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

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

V Pardubicích dne 9. ledna 2023

ANOTACE

Cílem této práce je realizovat řízení laboratorního modelu pomocí PLC SIEMENS Simatic S7-1200 s dotykovým HMI Panelem KPT700 Basic. Práce se věnuje návrhu hardwarového schématu, který propojí počítač, PLC a řízený model a umožní tak řízení motoru. Práce rozebírá vývojové prostředí TIA Portálu, princip PLC počítačů a jejich programování. Výsledkem práce je funkční řízení laboratorního modelu z HMI Panelu.

KLÍČOVÁ SLOVA:

PLC, Siemens, Řízení modelu, TIA Portal, SIMATIC – SIEMENS S7-1200, HMI

ANOTATION

The aim of this thesis is to implement the control of a laboratory model using a SIEMENS Simatic S7-1200 PLC with a KPT700 Basic touchscreen HMI panel. The thesis deals with the design of a hardware scheme that will connect the computer, PLC and the controlled model to allow motor control. The thesis explains the development environment of TIA Portal, the principle of PLC computers and their programming. The result of the work is the functional control of the laboratory model from the HMI Panel.

KEYWORDS

PLC, Siemens, Model control, TIA Portal, SIMATIC – SIEMENS S7-1200, HMI

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK	9
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	10
ÚVOD	11
1 TEORETICKÁ ČÁST	12
1.1 PROGRAMOVATELNÉ LOGICKÉ AUTOMATY – PLC	12
1.2 KONSTRUKCE.....	13
1.3 TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION PORTAL – TIA PORTAL.....	13
1.4 PROGRAMOVACÍ JAZYKY	14
1.5 PROGRAMOVACÍ BLOKY	17
1.6 PLC TAGS – ULOŽIŠTĚ PROMĚNNÝCH	19
2 PRAKTICKÁ ČÁST	21
2.1 HARDWARE K REALIZACI ÚLOHY.....	21
2.2 HARDWAROVÁ REALIZACE ŘÍZENÍ MOTORU	30
2.3 SOFTWAREOVÁ REALIZACE ŘÍZENÍ MOTORU.....	37
2.4 TESTOVÁNÍ A ZHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH VELIČIN	47
ZÁVĚR.....	53
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	54
PŘÍLOHY	56

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1: PLC S7-300 (S7-300 SIEMENS, 2023).....	12
OBR. 2: PŘÍKLAD LADDER DIAGRAMU (YAHIA, 2022)	15
OBR. 3: PŘÍKLAD STRUCTURED TEXTU (ANTON, 2021).....	15
OBR. 4: PŘÍKLAD FUNKČNÍHO BLOKOVÉHO DIAGRAMU (SIEMENS AG, 2018)	16
OBR. 5: MENU PROGRAMOVACÍCH BLOKŮ (SIEMENS, 2022).....	17
OBR. 6: ADRESOVÁNÍ PLC TAGŮ (SYMBOL TABLE ALLOWED ADDRESSES AND DATA TYPES, C2005-2023).....	19
OBR. 7: POUŽITELNÉ DATOVÉ TYPY (STEP 7 ELEMENTARY DATA TYPES, C2005-2023)	20
OBR. 8: PLC S7-1200 (SIEMENS S7-1200, 2022).....	21
OBR. 9: ROZŠIŘUJÍCÍ MODUL SM 1232 AQ (SIMATIC SM 1232, 2022)	23
OBR. 10: HMI PANEL KPT700 BASIC (SIMATIC HMI KPT700 BASIC, C1997-2023)	24
OBR. 11: SCHÉMA ZAPOJENÍ H-MŮSTKU (298 N DATASHEET, 2000).....	25
OBR. 12: DVOJITÝ H-MŮSTEK (H-MŮSTEK L298N,2023)	26
OBR. 13: ŘÍZENÝ MODEL (FOTOGRAFIE, 2023).....	27
OBR. 14: PC 817 (OPTOČLEN PC 817 S TRANZISTOREM, 2019).....	28
OBR. 15: SCHÉMA ZAPOJENÍ U/PWM PŘEVODNÍKU (SCREENSHOT, EAGLE 9.6.2)	29
OBR. 16: BLOKOVÉ SCHÉMA KOMPLETNÍHO HARDWAROVÉHO ZAPOJENÍ (VYTVOŘENO V APP.DIAGRAMS.NET).....	30
OBR. 17: GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ZAPOJENÍ PINŮ H-MŮSTKU (H-MŮSTEK L298N, 2023).....	33
OBR. 18: SCHÉMA ZAPOJENÍ ANALOG. VÝSTUPŮ PRO OVLÁDÁNÍ SMĚRU OTÁČENÍ MOTORU (SCREENSHOT, EAGLE 9.6.2).....	34
OBR. 19: SCHÉMA VÝVODŮ INKREMENTÁLNÍHO ENKODÉRU NA KONEKTORU	35
OBR. 20: SCHÉMA ZAPOJENÍ OPTOČLENU (SCREENSHOT, EAGLE 9.6.2).....	36
OBR. 21: GRAFICKÝ VZHLED NAHRANÉHO PLC A JEHO ADRESY VÝSTUPŮ (SCREENSHOT, TIA PORTAL V18).....	37
OBR. 22: PLC TAGS PROGRAMU (SCREENSHOT, TIA PORTAL V18).....	38
OBR. 23: SEZNAM FUNKČNÍCH BLOKŮ V PROGRAMU (SCREENSHOT, TIA PORTAL V18).....	39

OBR. 24: BLOK MAIN (SCREENSHOT, TIA PORTAL V18)	41
OBR. 25: DATABÁZE PROMĚNNÝCH A NETWORK 1 (SCREENSHOT, TIA PORTAL V18)	43
OBR. 26: NETWORK 2.....	43
OBR. 27: POKRAČOVÁNÍ NETWORK 2 (SCREENSHOT, TIA PORTAL V18).....	43
OBR. 28: NETWORK 3 (SCREENSHOT, TIA PORTAL V18).....	44
OBR. 29: DATOVÝ BLOK (SCREENSHOT, TIA PORTAL V18).....	44
OBR. 30: NASTAVENÍ INTERVALU PŘERUŠENÍ OB (SCREENSHOT, TIA PORTAL V18)	45
OBR. 31: NETWORK 1 BLOKU CYKlickÉHO PŘERUŠENÍ (SCREENSHOT, TIA PORTAL V18).....	45
OBR. 32: DATOVÝ BLOK HMI PANELU (SCREENSHOT, TIA PORTAL V18).....	46
OBR. 33: UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ NA HMI PANELU (SCREENSHOT, TIA PORTAL V18)	46
OBR. 34: GRAF ODCHYLKY NASTAVENÉHO A NAMĚŘENÉHO PWM SIGNÁLU (EXCEL, 2016).....	49
OBR. 35: GRAF ZMĚNY OTÁČEK MOTORU PŘI ZMĚNĚ PWM SIGNÁLU (EXCEL, 2016)	49
OBR. 36: PRŮBĚH ZASTAVENÍ MOTORU (TIA PORTAL V18, FOTOGRAFIE)	50
OBR. 37: PRŮBĚH ROZBĚHU MOTORU (TIA PORTAL V18, FOTOGRAFIE)	51
OBR. 38: REAKČNÍ DOBA SYSTĚMU (TIA PORTAL V18, FOTOGRAFIE)	52

SEZNAM TABULEK

TAB. 1 DŮLEŽITÉ PARAMETRY PLC (EXCEL, 2016).....	22
TAB. 2 DŮLEŽITÉ PARAMETRY ROZŠIŘUJÍCÍHO MODULU (EXCEL, 2016)	23
TAB. 3 PINY H-MŮSTKU (EXCEL, 2016)	26
TAB. 4 TABULKA NASTAVOVÁNÍ STRÍDY SIGNÁLU POMOCÍ NAPĚTÍ (EXCEL, 2016)32	
TAB. 5 ÚMĚRA NAPĚTÍ VŮČI HODNOTĚ ANALOGOVÉHO VÝSTUPU (EXCEL, 2016) .	40
TAB. 6 PŘEVODNÍ POMĚRY (EXCEL, 2016)	40
TAB. 7 NAMĚŘENÉ VELIČINY (EXCEL, 2016).....	48

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

TIA Portal – Totally Integrated Automation Portal

PLC – Programovatelné logické automaty

CPU – Centrální procesorová jednotka

ST – Structured Text

LD – Ladder diagram

FBD – Function block diagram

HMI – Human machine interface

DC – Stejnoseměrný proud

AC – Střídavý proud

PWM – Pulse Width Modulation

DB – Datový blok

FB – Funkční blok

OB – Organizační blok

FC – Funkce

RPM – Počet otáček motoru za sekundu

PC – Počítač

ÚVOD

Tato práce se zabývá řízením modelu motoru pomocí PLC Siemens Simatic S7-1200 s dotykovým HMI panelem.

V teoretické části této práce je provedena stručná rešerše typů PLC a jejich konstrukce, dostupných programovacích jazyků, významu funkčních bloků při programování a principů ukládání dat a proměnných v TIA Portálu.

V praktické části práce popisuje jednotlivé moduly použité pro řízení motoru, jejich význam, princip a dopad na celkový systém. Důraz je kladen na podrobný popis hardwarového zapojení všech modulů do funkčního celku.

V druhé části je podrobně popsán program nahraný do PLC pro řízení motoru v programovacím jazyce LD. Popsány jsou veškeré výpočty, důraz se klade na stručné, výstižné popsání jednotlivých funkčních bloků a jejich důvod použití.

V závěru práce probíhá testování řízení motoru a zhodnocení naměřených veličin.

1 Teoretická část

1.1 Programovatelné logické automaty – PLC

PLC jsou průmyslové počítače (obr. 1) s vlastním operačním systémem, který je uzpůsobený pro použití v průmyslovém prostředí, tzn. pro řízení reálných automatizačních úloh v reálném čase. Pro komunikaci s okolním prostředím PLC využívá vstupní a výstupní periferie, které pracují s analogovými i digitálními signály, kdy vstupní signál může představovat stav (On/Off), teplotu, tlak nebo například hladinu řízeného systému a výstupní signály představující samotný akční zásah do řízeného systému, jako například zavření/otevření ventilu, regulace otáček nebo řízení polohy. (SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller, 2022)



Obr. 1: PLC S7-300 (S7-300 SIEMENS, 2023)

1.2 Konstrukce

Programovatelné automaty jsou strukturou buď kompaktní nebo modulární. Oba typy mají své výhody i nevýhody, proto je potřeba se nejdříve zamyslet nad cíli a požadavky zamýšleného řízení, a zvolit vhodný typ konstrukčního provedení, který nejlépe odpovídá požadovanému úkonu. (SESTAVA PLC, 2021)

Kompaktní PLC je modul s integrovaným procesorem s předem určeným počtem vstupních a výstupních periférií (v řádu jednotek až desítek). Toto řešení zajišťuje vyšší rychlost vykonávání cyklů, protože signály díky přímé integraci periférií do PLC, nemusí procházet přes řadič sběrnice. Další výhodou je také nižší cena oproti modulárním. Nevýhodou kompaktních automatů je jejich nerozšiřitelnost (ve většině případů) a malá programová i datová paměť CPU, tudíž je použitelnost omezená pouze pro malé řídicí systémy. (SESTAVA PLC, 2021)

Modulární PLC je v základu modul CPU, který je rozšiřitelný o různé periferní moduly představující vstupní, výstupní, analogové, digitální a další signály, které mohou pracovat na různých napěťových hladinách. V tomto případě se oproti kompaktním automatům předpokládá velký počet periférií (řádově desítek), tudíž CPU je vybaveno větší programovou i datovou kapacitou paměti. Moduly jsou vzájemně propojené sběrnici. (SESTAVA PLC, 2021)

1.3 Totally Integrated Automation Portal – TIA Portal

TIA Portal je inženýrské vývojové prostředí vyvinuté firmou Siemens. Portal umožňuje kompletní návrh, realizaci a simulaci automatizačních úloh různých druhů. TIA Portal umožňuje navázat spojení s PLC Simatic S7-1200, zvolit si programovací jazyk (viz předchozí kapitola), naprogramovat uživatelskou aplikaci, ovládat ji pomocí HMI panelu, testovat ji, měřit různé veličiny a znázorňovat je opět na HMI panelu. (LÍBAL, 2016)

1.4 Programovací jazyky

Tato kapitola se zabývá programovacími jazyky, které prostředí TIA Portal nabízí. Každý programovací jazyk má svoje výhody i nevýhody, tudíž stejně jako u výběru konstrukce je i tady nutné se nejdříve zamyslet, jaké jsou cíle požadované aplikace, aby mohl být zvolen správný programovací jazyk. PLC (Siemens Simatic S7-1200) podporuje tyto 3 programovací jazyky: (HORÁČEK, 2019)

- Structured text (ST)
- Function block diagram (FBD)
- Ladder (LD)

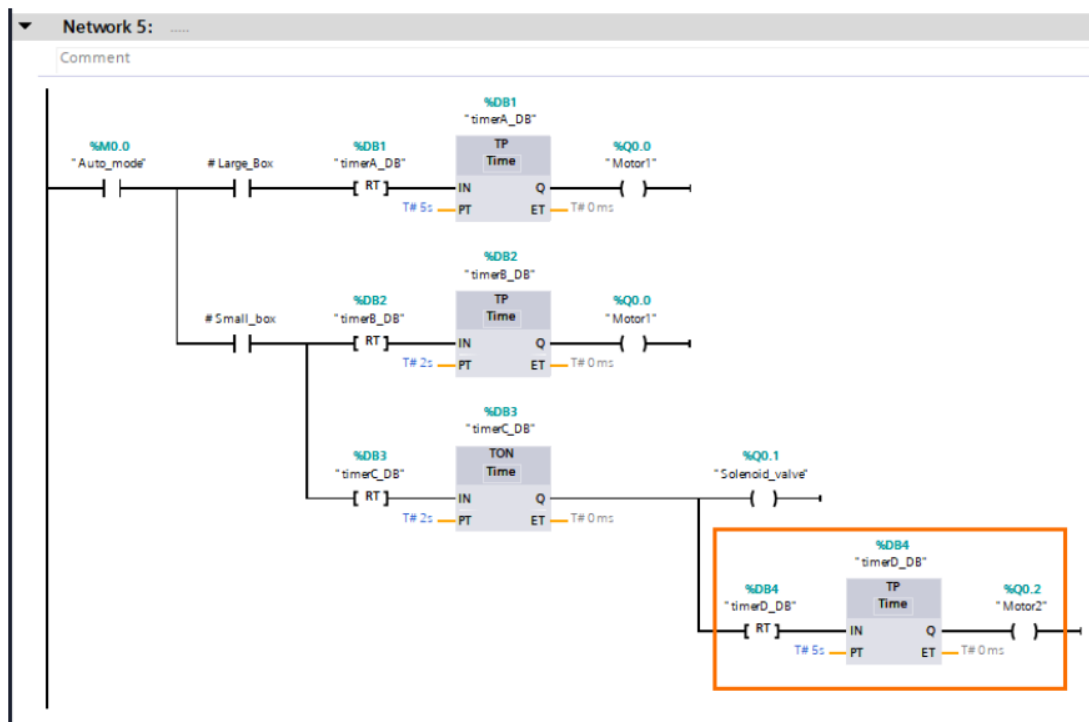
Poté se v průmyslu vyskytují jazyky:

- Instruction List (IL)
- Sequential Function Charts – (SFC)

Programovací jazyk se vybírá pro každý blok v programu zvlášť.

1.4.1 Jazyk příčkového diagramu (LD)

Před příchodem PLC se ve výrobních závodech používala reléová logika, tudíž na základě spínání a rozpínání fyzických relé kontaktů (obr. 2). Proto po příchodu PLC a jejich prvních zařazení do provozu vznikl programovací jazyk podobný zmiňované relé logice – LD. Díky jeho jednoduchosti se tento jazyk používá dodnes. Program vzdáleně připomíná příčky žebříku, kde každá příčka obsahuje určité podmínky. Pokud je příčka podmínek vyhodnocena jako „TRUE“, provede se výstupní program. Výhoda tohoto programování spočívá v jednoduchosti. Tento programovací jazyk je vhodný pro lidi, kteří jsou zvyklí pracovat s principem reléové logiky. (HORÁČEK, 2019)



Obr. 2: Příklad ladder diagramu (YAHIA, 2022)

1.4.2 Strukturovaný text (ST)

Programovací jazyk velmi podobný jazyku C. Programátor píše řádky kódu, které se postupně vykonávají a vyhodnocují (obr. 3). K psaní programu se využívají funkce a Booleovská logika. Tento programovací jazyk je vhodný pro lidi, co se chtějí naučit pracovat s PLC a již mají zkušenosti s programováním v jazyce C, C++ nebo Java. (HORÁČEK, 2019)

```

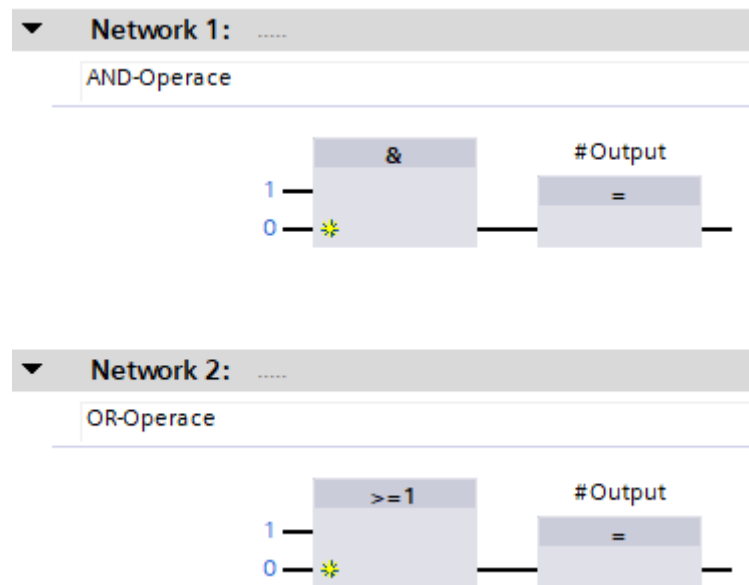
Network 4: Check is there is a 3 in my array
Comment
1 FOR #i := 0 TO 4 DO
2   IF #myArray[#i] = 3 THEN
3     #bAnElementIs3 := TRUE;
4     EXIT;
5   END_IF;
6 END_FOR;

```

Obr. 3: Příklad structured textu (ANTON, 2021)

1.4.3 Funkční blokové schéma (FBD)

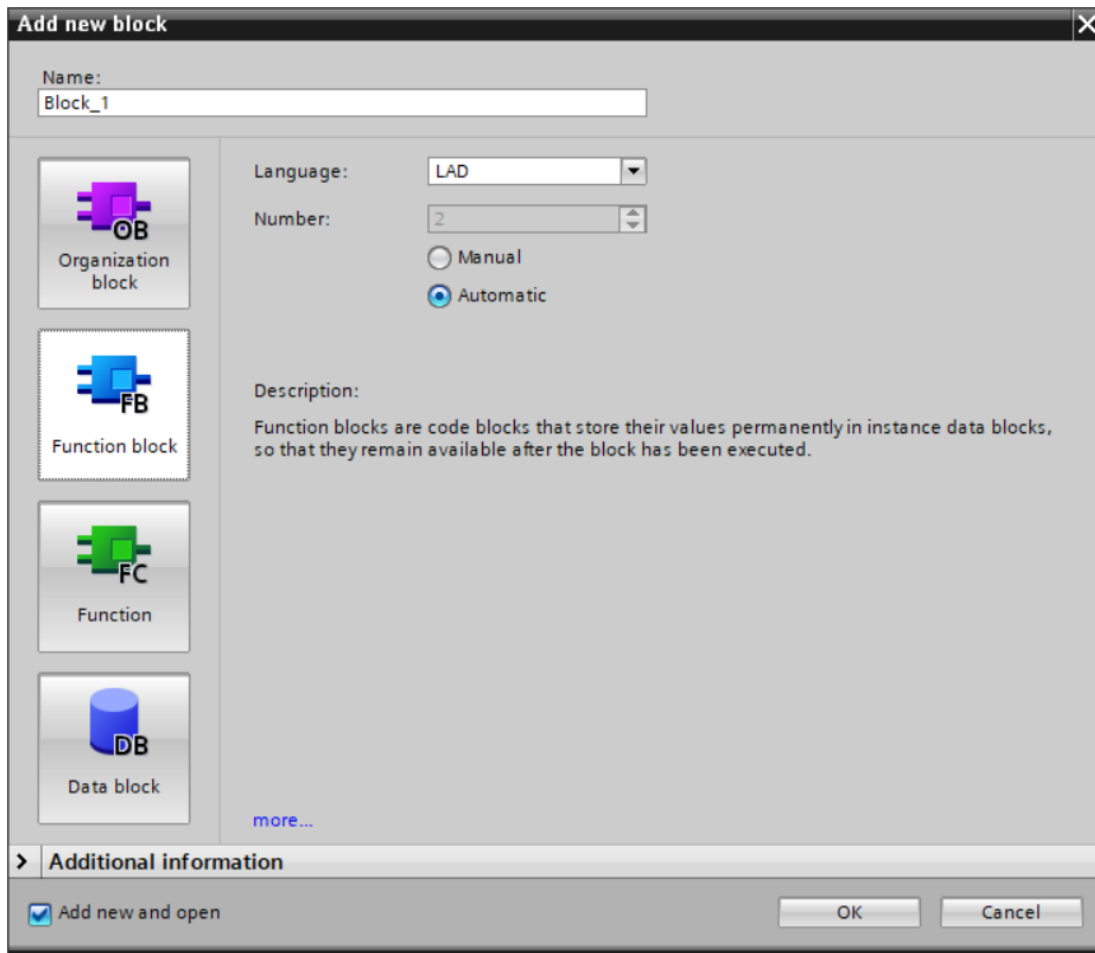
Tento programovací jazyk se podobá jazyku LD a je velice snadný a intuitivní, pro jeho používání není potřeba umět programovat. FBD funguje na principu propojování funkčních bloků, kdy každý blok reprezentuje určitou aritmetickou, logickou, trigonometrickou operaci nebo např. časovač, čítač, PID regulátor nebo posuvné registry (obr. 4). Tento programovací jazyk je vhodný pro lidi, kteří jsou zvyklí pracovat s logickými obvody a schémata. (HORÁČEK, 2019)



Obr. 4: Příklad funkčního blokového diagramu (SIEMENS AG, 2018)

1.5 Programovací bloky

TIA Portal používá takzvané programovací bloky pro lepší udržitelnost struktury programu, lepší přehlednost a čitelnost. Programovací bloky se dělí na Organizační bloky (OB), Funkční bloky (FB), Funkce (FC) a Datové bloky (DB) (obr. 5). Každý blok může fungovat v jakýmkoliv programovacím jazyce nezávisle na ostatních blocích. (SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller, 2022)



Obr. 5: Menu programovacích bloků (SIEMENS, 2022)

1.5.1 Organizační blok

Organizační bloky (dále jen OB) mají předem danou funkci, kterou vybíráme ze seznamu. Každý OB má své pořadové číslo, podle kterého jsou programem postupně volány a vykonávají svoji funkci. Při založení nového projektu se automaticky vytvoří OB „Main [OB1]“, který slouží jako hlavní část programu. OB může například sloužit také jako Cyclic interrupt, který se bude cyklicky vyvolávat nezávisle na pořadí OB (použití bude ukázáno v praktické části). (SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller, 2022)

1.5.2 Funkční blok

Funkční blok (dále jen FB) se používá v případě, kdy je potřeba vytvořit nový blok (například pro program Main), který bude v programu použit několikrát. Klasický programátor si to může představit jako funkci, která požaduje určité vstupy, na základě kterých vykoná svůj vnitřní program, jehož výsledek uloží na výstup. Tato funkce se poté dá použít opakovaně bez nutnosti znova vypisovat celý obsah dané funkce. FB pracuje s vlastní databází proměnných, který dělí na vstupní, výstupní, dočasné, vstupně-výstupní, konstantní nebo statické. Navenek potom zobrazuje pouze vstupní a výstupní hodnoty. (SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller, 2022)

1.5.3 Datový blok

Datový blok (dále jen DB) je globální datový blok, do kterého se ukládají proměnné ostatních funkčních bloků, a které lze využít v libovolném jiném funkčním bloku. Sjednocuje tedy veškerá data v celé šíři uživatelského programu. Uživateli tím dává přístup k centrálním datové oblasti. Velká výhoda spočívá v tom, že uživatel může při běhu programu sledovat v reálném čase změny všech proměnných, které se ve funkčním bloku používají a tím lépe monitorovat případné chyby programu. (SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller, 2022)

1.6 PLC Tags – uložště proměnných

PLC Tags je seznam všech proměnných, které se používají v programu – nezahrnuje vnitřní proměnné funkčních bloků. Pokud se například měří hodnota na vstupu, tato hodnota má svoji adresu, která pokud se využije v programu, se zároveň propíše do seznamu PLC Tags. Pokud se tato hodnota má ukládat do interní proměnné, vytvoří se proměnná hodnota v PLC Tags. Každý Tag neboli proměnná, má svoje jméno, data type a adresu.

1.6.1 Adresy

Obr. 6: Adresování PLC Tagů (Symbol Table Allowed Addresses and Data Types, c2005-2023)

English Mnemonics	German Mnemonics	Description	Data Type	Address Range
I/O Signals				
I	E	Input bit	BOOL	0 to 65535.7
IB	EB	Input byte	BYTE, CHAR	0 to 65535
IW	EW	Input word	WORD, INT, S5TIME, DATE	0 to 65534
ID	ED	Input double word	DWORD, DINT, REAL, TOD, TIME	0 to 65532
Q	A	Output bit	BOOL	0 to 65535.7
QB	AB	Output byte	BYTE, CHAR	0 to 65535
QW	AW	Output word	WORD, INT, S5TIME, DATE	0 to 65534
QD	AD	Output double word	DWORD, DINT, REAL, TOD, TIME	0 to 65532
Marker Memory				
M	M	Memory bit	BOOL	0 to 65535.7
MB	MB	Memory byte	BYTE, CHAR	0 to 65535
MW	MW	Memory word	WORD, INT, S5TIME, DATE	0 to 65534
MD	MD	Memory double word	DWORD, DINT, REAL, TOD, TIME	0 to 65532

1.6.2 Datové typy

Obr. 7: Použitelné datové typy (Step 7 Elementary Data Types, c2005-2023)

Type and Description	Size in Bits	Format Options	Range and Number Notation (lowest to highest values)
BOOL (Bit)	1	Boolean text	TRUE/FALSE
BYTE (Byte)	8	Hexadecimal number	B#16#0 to B#16#FF
WORD (Word)	16	Binary number	2#0 to 2#1111_1111_1111_1111
		Hexadecimal number	W#16#0 to W#16#FFFF
		BCD	C#0 to C#999
		Decimal number unsigned	B#(0,0) to B#(255,255)
DWORD (Double word)	32	Binary number	2#0 to 2#1111_1111_1111_1111_1111_1111_1111_1111
		Hexadecimal number	W#16#0000_0000 to W#16#FFFF_FFFF
		Decimal number unsigned	B#(0,0,0,0) to B#(255,255,255,255)
INT (Integer)	16	Decimal number signed	-32768 to 32767
DINT (Double integer)	32	Decimal number signed	L#-2147483648 to L#2147483647
REAL (Floating-point number)	32	IEEE Floating-point number	Upper limit +/-3.402823e+38 Lower limit +/-1.175495e-38
SSTIME (SIMATIC time)	16	S7 time in steps of 10ms (default)	SST#0H_0M_0S_10MS to SST#2H_46M_30S_0MS and SST#0H_0M_0S_0MS
TIME (IEC time)	32	IEC time in steps of 1 ms, integer signed	T#24D_20H_31M_23S_648MS to T#24D_20H_31M_23S_647MS
DATE (IEC date)	16	IEC date in steps of 1 day	D#1990-1-1 to D#2168-12-31
TIME_OF_DAY (Time)	32	Time in steps of 1 ms	TOD#0:0:0.0 to TOD#23:59:59.999
CHAR (Character)	8	ASCII characters	A', 'B' etc.

2 Praktická část

V této části se využijí informace, získané z teoretické rešerše k realizaci požadované úlohy.

Proběhne seznámení s technickými možnostmi PLC, ke kterému se následně připojí několik přídatných modulů, aby se umožnilo kompletní řízení motoru a snímání požadovaných veličin. Druhá polovina praktické části se zaměří na stavbu programu v rozhraní TIA portálu.

2.1 Hardware k realizaci úlohy

2.1.1 PLC Siemens S7-1200

Toto PLC z rodiny CPU 1215 C – typ 6ES7215-1BG40-0XB0 patří do konstrukční skupiny kompaktních PLC, má tedy již integrovaný předurčený počet vstupů a výstupů s možností přidání dalších modulů (obr. 8). PLC obsahuje 14 digitálních vstupů a 10 digitálních výstupů, přičemž vstupy a výstupy fungují na hladině 24 V a jsou reléové. Využit se dají také 2 analogové vstupy (0-10 V) a dva proudové analogové výstupy (0–20 mA). Rozšiřitelnost PLC je zajištěna možností přidat přídatné moduly. Pro komunikaci slouží 2 PROFINET porty, které využíváme pro spojení s počítačem nebo například HMI panelem. PLC je napájeno ze sítě 85–264 V, přídatné moduly a HMI panel se napájí napětím 24 V přímo z výstupu PLC. Programová paměť je 125 KB. (SIEMENS S7-1200, 2022)



Obr. 8: PLC S7-1200 (SIEMENS S7-1200, 2022)

Tab. 1 Důležité parametry PLC

PLC S7-1200	
Napájecí napětí	
Jmenovitá hodnota (AC)	85 V-265 V
Paměť	
Pracovní paměť	125 kbyte
Digitální vstupy	
Počet digitálních vstupů z toho vstupy použitelné pro technologické funkce	14 6; HSC (Vysoko rychlostní čítač)
Vstupní napětí	
Jmenovitá hodnota (DC)	24 V
pro signál "0"	5 V DC
pro signál "1"	15 V DC
Digitální výstupy	
Počet digitálních výstupů	10; Relé
Reléové výstupy	
Počet reléových výstupů	10
Počet provozních cyklů, max.	10 miliónů
Analogové vstupy	
Počet analogových vstupů	2
Rozsahy vstupů	
Napětí	0–10 V
Analogové výstupy	
Počet analogových výstupů	2
Rozsah proudových výstupů	
0–20 mA	Ano
Rozhraní	
Typ rozhraní	PROFINET
Izolované	Ano
Autocrossing	Ano
Typy rozhraní	
RJ 45 (Ethernet)	Ano
Počet portů	2
Integrovaný přepínač	Ano
Protokoly (Ethernet)	
TCP/IP	Ano
DHCP	Ne
SNMP	Ano
DCP	Ano
LLDP	Ano
Rozměry a hmotnost	
Šířka	130 mm
Výška	100 mm
Hloubka	75 mm
Hmotnost	550 g

2.1.2 Rozšiřující modul SM 1232 AQ

V praktické části bude potřeba obohatit PLC o analogové napěťové výstupy, proto byl přidán rozšiřující modul – typ 6ES7232-4HB32-0XB0 s dvěma analogovými výstupy (+-10 V) (obr. 9). Instalace modulu spočívá v zasunutí modulu z boku základního PLC a následným spojením s PLC pomocí konektoru. (SIMATIC SM 1232, 2022)



Obr. 9: Rozšiřující modul SM 1232 AQ (SIMATIC SM 1232, 2022)

Tab. 2 Důležité parametry rozšiřujícího modulu

SM1232 - 6ES7232-4HB32-0XB0	
Obecné informace	
Typ výrobku	SM1232, AQ 2x14 bit
Napájecí napětí	
Jmenovitá hodnota (DC)	24 V
Analogové výstupy	
Počet analogových výstupů	2; Proudové nebo napěťové
Rozsah napěťových výstupů	
-10 V to +10 V	Ano
Rozsah proudových výstupů	
0-20 mA	Ano
Rozměry a hmotnost	
Šířka	45 mm
Výška	100 mm
Hloubka	75 mm
Hmotnost	180 g

2.1.3 HMI Panel KTP700 Basic

SIMATIC HMI panel typ 6AV2 123-2GB03-0AX0 umožňuje zobrazovat na displeji uživatelské rozhraní pro ovládání a řízení motoru, zároveň lze na displej vypisovat naměřené či vypočítané hodnoty z PLC (obr. 10).

Jedná se o programovatelný 7palcový dotykový displej s osmi funkčními klávesami, který komunikuje pomocí rozhraní PROFINET (Ethernet kabel) s PLC. V této práci se využije dotykový panel k nastavování hodnoty PWM a zobrazování počtu otáček motoru za minutu. Panel se napájí 24 V přímo z PLC. (SIEMENS HMI KPT 700 Basic, 2022)

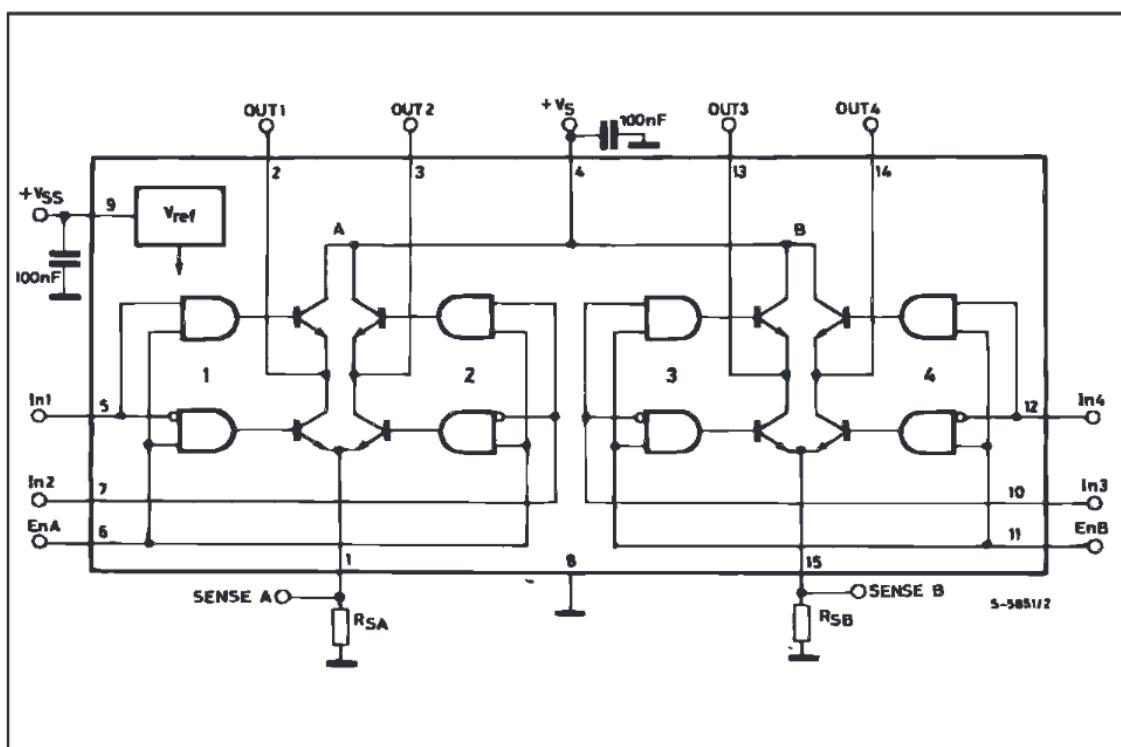


Obr. 10: HMI Panel KPT700 Basic (SIMATIC HMI KPT700 Basic, c1997-2023)

2.1.4 H můstek

Pro řízení rychlosti otáčení motoru využijeme H-můstek. Jedná se o elektrický obvod sestavený ze čtyřech tranzistorů do tvaru písmene H (obr. 11). Obvod jde také koupit jako hotový modul, často v provedení dvojitého H-můstku. V této úloze byl použit dvojitý H-můstek pro krokový DC motor s L298N (obr. 12). Tento modul je napájen 5 V a umožňuje řízení dvou DC motorů při maximálním výkonu 25 W. Řízení probíhá pomocí pinu ENABLE, na který je přiveden PWM signál. Pomocí pinů IN1 a IN2 řídíme směr otáčení motoru. (298 N Datasheet, 2000)

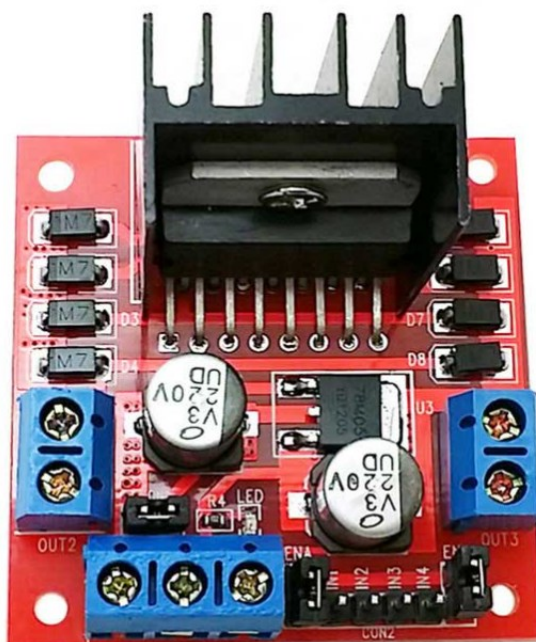
BLOCK DIAGRAM



Obr. 11: Schéma zapojení H-můstku (298 N Datasheet, 2000)

Tab. 3 Piny H-můstku

Zapojení H-můstku	
+Vs	12 V silové napájení motoru
+Vss	5V napájení logiky
IN1, IN2	Nastavení směru otáčení motoru 1
IN3, IN4	Nastavení směru otáčení motoru 2
ENA	Enable motoru 1
ENB	Enable motoru 2
OUT1, OUT2	Output pro motor 1
OUT3, OUT4	Output pro motor 2
GND	Zem
SENS A, SENS B	NC



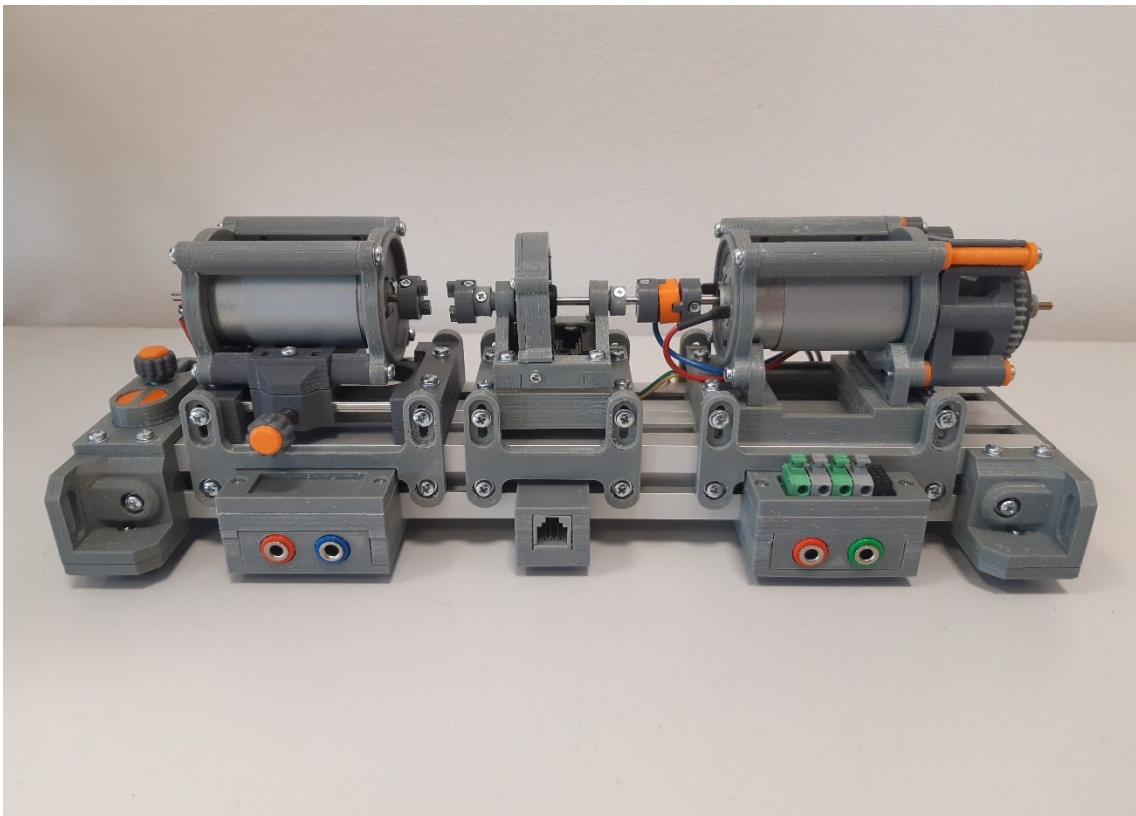
Obr. 12: Dvojitý H-můstek (H-můstek L298N, 2023)

2.1.5 Řízený model

Jedná se o model složený z elektromotoru a generátoru na společné hřídeli. Na soustrojí dochází k transformaci elektrické energie. Jeho využití spočívá např. v galvanickém oddělení obvodů nebo v konverzi stejnosměrného proudu na střídavý proud. V současné době je tento model nahrazován modernějšími polovodičovými součástkami.

V tomto modelu je pravý motor (obr. 13) řízený a může být u něho použita převodovka, přičemž levý motor může sloužit jako zátěž.

Součástí řízeného modelu je také inkrementální snímač, pomocí kterého měříme rychlost otáčení motoru. Motory jsou identické a jsou napájeny max. DC 12 V.



Obr. 13: Řízený model (Fotografie, 2023)

2.1.6 Optočlen PC 817

Optočlen je elektrotechnická součástka, která se používá ke galvanickému oddělení dvou obvodů (obr. 14). Princip spočívá v přivedení malého proudu na LED diodu na vstupu, která se rozsvítí a tím se začne otevírat fototranzistor, který sepne obvod na výstupu. Výsledný signál je fázově otočený o 180 stupňů oproti původnímu, ale to v tomto použití nevádí. Pro úplné rozdělení je potřeba mít pro každý rozdělený obvod samostatnou zem.

Jak bylo zmíněno v teoretické části, PLC vstupy pracují s napětím 24 V. Inkrementální enkodér použitý v řízeném modelu je napájen 5 V, a tudíž i jeho výstupy jsou na úrovni 5 V. Musí zde dojít ke konverzi 5 VDC výstupu z inkrementálního enkodéru na 24VDC vstup do čítače v PLC. To je zařízeno použitím optočlenu, který nám zároveň vytvoří galvanické oddělení mezi 5 V logikou a 24 V napětím, se kterým pracuje PLC. (PC 817 Datasheet, 1995)

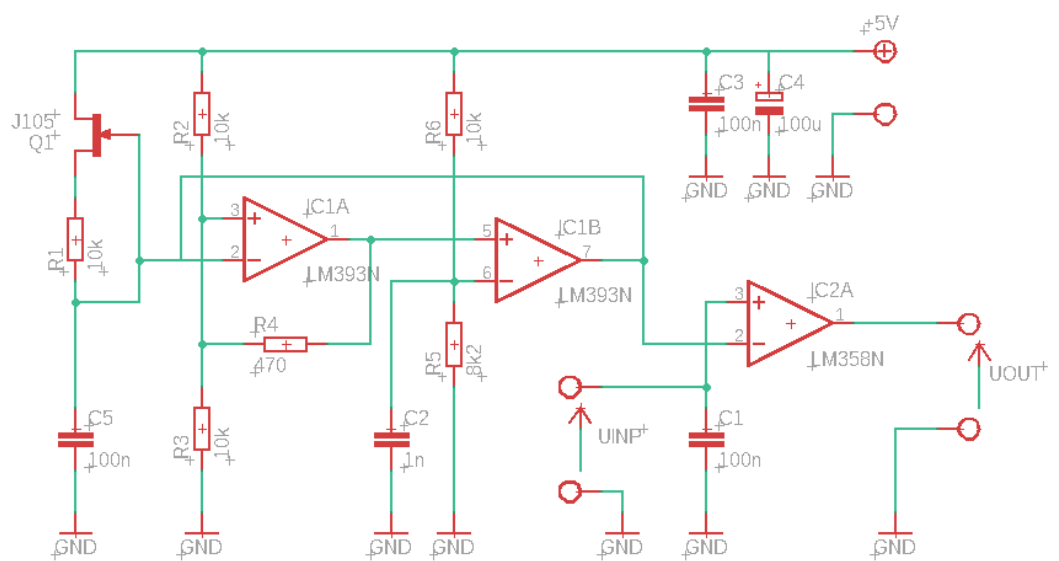


Obr. 14: PC 817 (Optočlen PC 817 s tranzistorem, 2019)

2.1.7 U/PWM převodník

Vzhledem k tomu, že použité PLC nemá PWM výstup, je nutné PWM signál pro řízení motoru generovat jinak. Toho bylo docíleno použitím přídavného modulu s analogovým napěťovým výstupem 0–10 V a převodníkem U/PWM.

Generátor PWM signálu se skládá z operačního zesilovače LM358N a dvou komparátorů LM393N (obr. 15). Celý obvod je napájen 5 V. Jako vstupní napětí se používá zmíněný analogový výstup z PWM (0–3 V). Výstupem z tohoto převodníku je PWM signál, který se přivádí na H-můstek pro řízení otáček motoru.

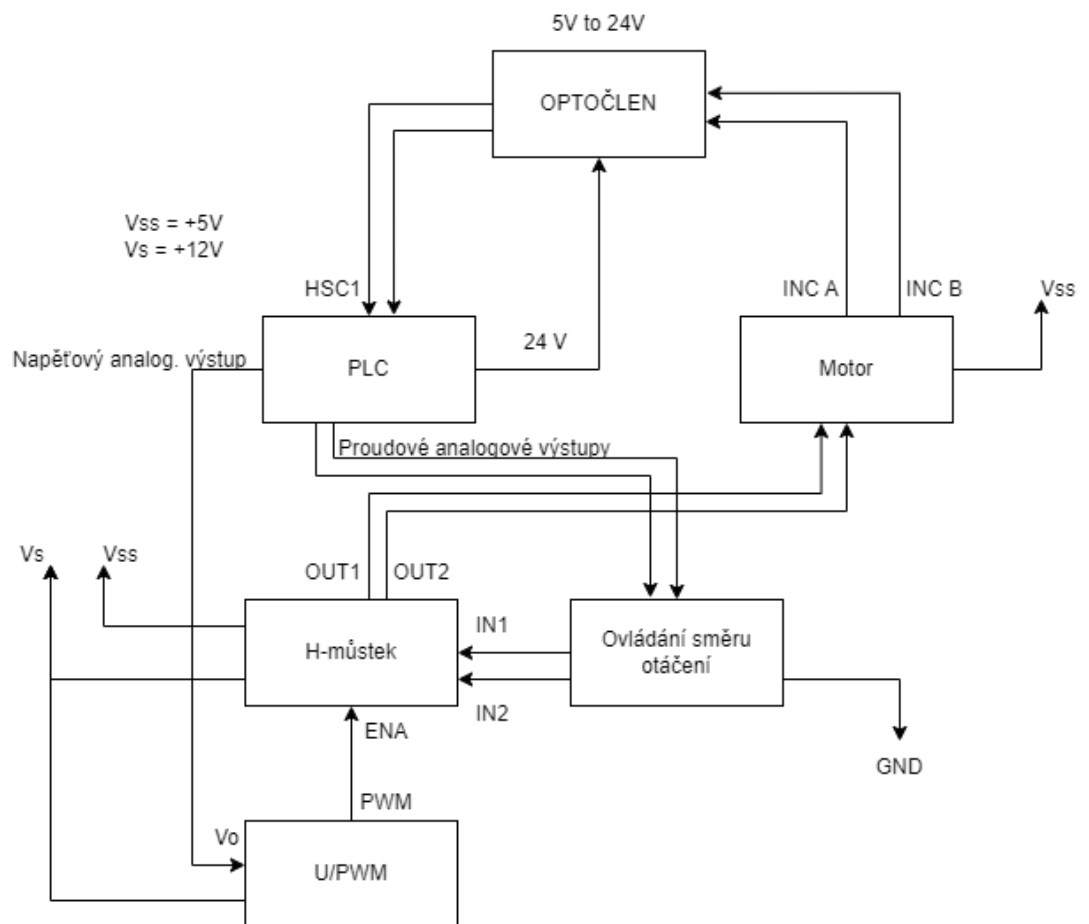


Obr. 15: Schéma zapojení U/PWM převodníku (Screenshot, Eagle 9.6.2)

2.2 Hardwarová realizace řízení motoru

V tomto bloku bude probrán kompletní proces zapojení hardwaru (obr. 16). Budou vysvětleny důvody použití jednotlivých modulů a jejich dopad na celkové chování zapojení. Druhá část bloku bude věnována softwarové stránce, kde bude vysvětleno celé prostředí TIA portálu a jednotlivé části programu, pomocí kterého bude řízen hardware.

2.2.1 Hardware zapojení



Obr. 16: Blokové schéma kompletního hardwarového zapojení (Vytvořeno v *app.diagrams.net*)

2.2.2 Řízení motoru

PLC

PLC nám slouží jako CPU celého systému, zdroj napětí pro 24V systémy a zajišťuje komunikaci mezi počítačem, hardwarem a HMI panelem. Zároveň PLC zajišťuje veškeré výpočetní potřeby a řízení motoru.

U/PWM Převodník

V teoretické části o PLC bylo zjištěno, jakými vstupy a výstupy PLC disponuje i na jakých napěťových hladinách funguje. Jednou z velkých nevýhod zvoleného PLC je, že neobsahuje PWM výstup, jelikož veškeré výstupy jsou typu relé, pro PWM by byli potřeba výstupy tranzistorového typu. Tato nevýhoda jde vyřešit signálovou kartou, která se dá připojit k PLC, ovšem taková možnost řešení nebyla zvolena.

V této práci byl místo signálové karty použit rozšiřující analogový modul (kapitola 3.1.2) a převodník napětí-PWM (kapitola 3.1.7). Rozšiřující analogový modul obsahuje napěťové analogové výstupy, které pracují v rozmezí 0–10 V.

Napětí je možné převádět na PWM signál pomocí převodníku. Tudíž byl na napájecím poli vytvořen přídavný modul, na který se přivádí řídicí napětí z analogového PLC výstupu. Tento modul následně převádí napětí na PWM signál. Vzhledem k tomu, že veškerá logika je napájena 5 V, i pro tento modul bylo zvoleno napájecí napětí 5 V.

Řídicí signál z PLC při napětí 0,25V odpovídá 0 % střídě PWM (Low) a při napětí 2,7V odpovídá 100 % střídě PWM (High) (tab. 4). Převodník reaguje na změnu řídicího napětí lineární změnou PWM signálu. Rozpětí řídicího napětí je 2,45V (1). Střída pro 50 % by tedy měla odpovídat hodnotě 1,475 V (2). Reálná hodnota napětí pro střidu 50 % je 1,55 V, což značí drobnou nelinearitu systému. Tato odchylka je ovšem pro systém zanedbatelná, tudíž je počítáno s dokonalou linearitou. Výstupní PWM signál se přivede na Enable H-můstku.

$$\Delta U = U_{MAX} - U_{MIN} = 2,7 - 0,25 = 2,45 \text{ V} \quad (1)$$

$$U_{50\%} = U_{MIN} + \left(\frac{\Delta U}{2}\right) = 0,25 + \frac{2,45}{2} = 1,475 \text{ V} \quad (2)$$

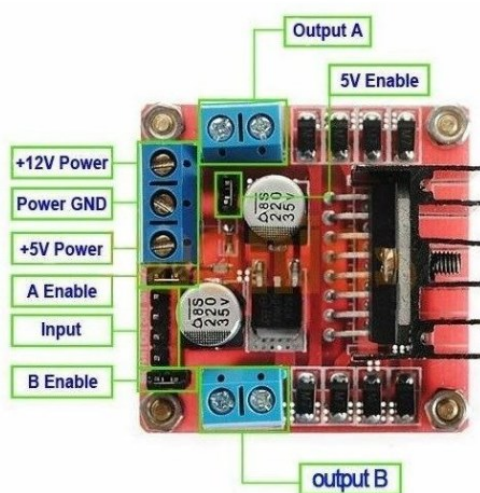
Tab. 4 Tabulka nastavování střídý signálu pomocí napětí

Hladina řídicího napětí [V]	Střída PWM signálu [%]
2,7	100
2,39	90
2,2	80
2	70
1,78	60
1,55	50
1,29	40
1	30
0,746	20
0,5	10
0,25	0

H-můstek

Velmi důležitý elektronický obvod, který zajišťuje samotné řízení DC motoru. H-můstek (obr. 17) propojí PLC, U/PWM převodník a motor do jednoho funkčního bloku, který již funguje jako regulace otáček motoru.

Pro správnou funkci H-můstku se musí napájet +5 V pro jeho logiku a +12 V silové napájení pro DC motor. Vstup (input – IN1, IN2) funguje na úrovni +5 V a podle jeho zapojení se ovládá směr otáčení motoru. Na A Enable je přiveden výstup z U/PWM převodníku, kterým se ovládá rychlost otáčení motoru. Výstup (output A, 12 V DC) je přiveden na motor. (tab. 3)



Obr. 17: Grafické znázornění zapojení pinů H-můstku (H-můstek L298N, 2023)

Při tomto zapojení již lze ovládat pomocí PLC rychlost otáčení motoru, jelikož je připojené řídicí napětí z PLC transformované na PWM signál, H-můstek a motor.

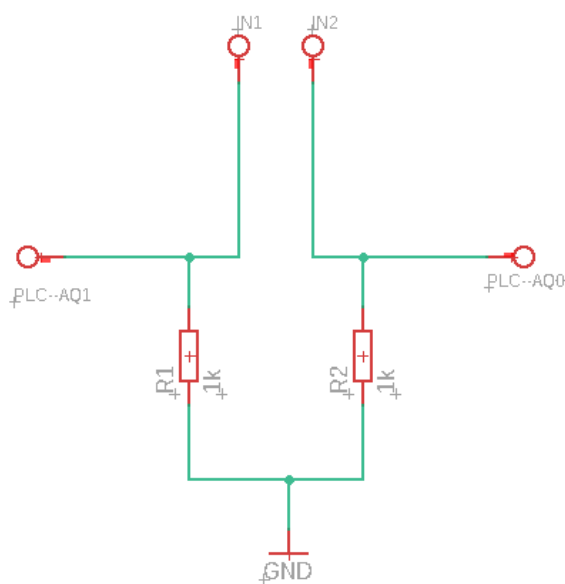
Směr otáčení

K řízení jsou využity dva analogově proudové výstupy (0–20 mA) z PLC, které jsou přes 1kΩ odpor svedeny na zem. Hodnota proudového výstupu je nastavena na 5 mA, tudíž se na rezistoru vytvoří napětí 5 V (3).

$$U = R \cdot I = 1000 \cdot 0,005 = 5 \text{ V}$$

(3)

Proudové výstupy se nyní na rezistoru chovají jako zdroj 5 V signálu, který se následně přivede na piny IN1 a IN2 H-můstku. Jestliže bude IN1 = 5 V, motor se bude otáčet jedním směrem, pokud bude IN2 = 5 V, motor se bude otáčet druhým směrem (obr. 18). Nikdy nesmí být oba výstupy nastavené na 5 V současně, což je programově ošetřeno. Směr otáčení motoru nastavuje obsluha přes HMI panel. Změnit směr otáčení motoru se dá pouze v případě, že se motor netočí (softwarově ošetřeno).



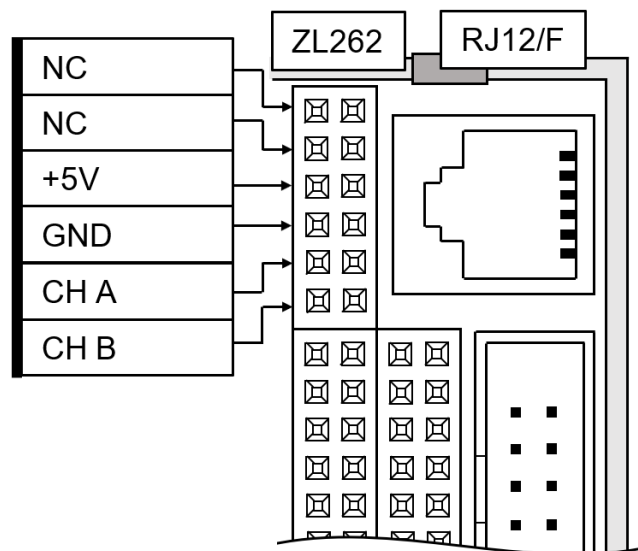
Obr. 18: Schéma zapojení analog. výstupů pro ovládání směru otáčení motoru (Screenshot, Eagle 9.6.2)

2.2.3 Snímání rychlosti otáčení motoru

Pro řízení otáček motoru ve vybraném modelu slouží inkrementální okénkový snímač, který se otáčí stejnou rychlostí jako řízený motor. Jeho výstupem jsou pulzy 0–5 V, které ovšem PLC nezaregistruje, protože hladina „1“ je pro PLC >15 V DC. Proto je nutné připojit optočlen, pomocí kterého lze transformovat daný průběh na libovolnou napěťovou hladinu (v souladu s technickými možnostmi optočlenu), tedy v tomto případě na 24 V DC. Zároveň se tím dosáhne galvanického oddělení 24 V obvodu od 5 V logiky a minimalizuje se možnost omylné destrukce nízko napěťových součástí.

Inkrementální enkodér

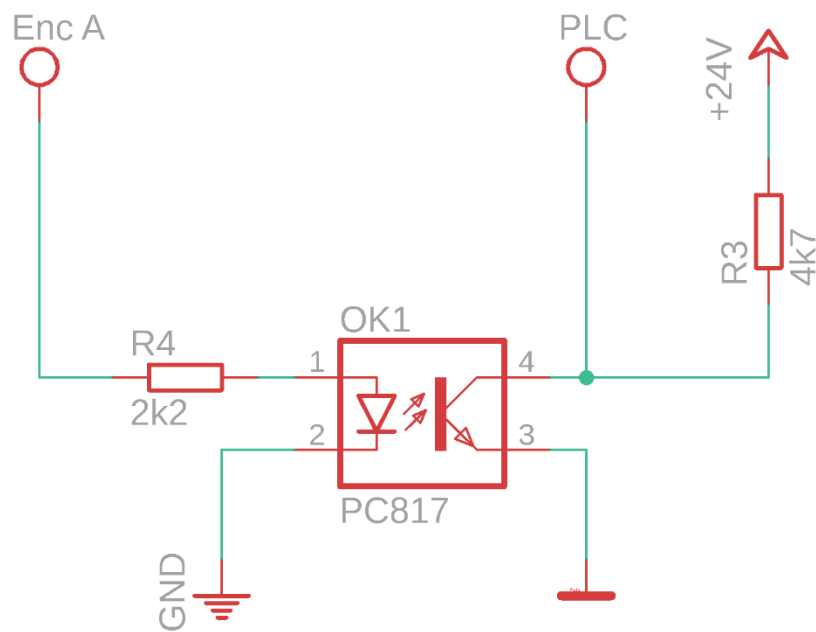
V modelu motor-generátor byl použit 35 okénkový enkodér. Komunikace enkodéru s PLC je zařízena pomocí krimpovacího telefonního kabelu RJ 12. Na fotce řízeného modelu (obr. 13) je vidět RJ 12 krimpovací konektor, do kterého se připojí RJ 12 kabel a spojí se s totožným konektorem na nepájivém poli. Dle přiloženého schématu (obr. 19) se přivede na enkodér napájení +5 V. CH A a CH B jsou signály z inkrementálního enkodéru, které se následně upravují pomocí optočlenu.



Obr. 19: Schéma vývodů inkrementálního enkodéru na konektoru

Optočlen

Důvod použití optočlenu byl vysvětlen v úvodu této podkapitoly. Pro správnou funkci optočlenu a pro správné galvanické oddělení dvou obvodů je potřeba dodržet také rozdělené země, tudíž zvlášť zem pro 5V obvody a zvlášť zem pro 24V obvody (obr. 20). Na anodu je přiveden signál z inkrementálního enkodéru, na kolektor tranzistoru je přivedeno požadované výstupní napětí (24 V). Tento upravený signál zpracovává PLC pomocí integrovaného čítače (kapitola 3.3.4).



Obr. 20: Schéma zapojení optočlenu (Screenshot, Eagle 9.6.2)

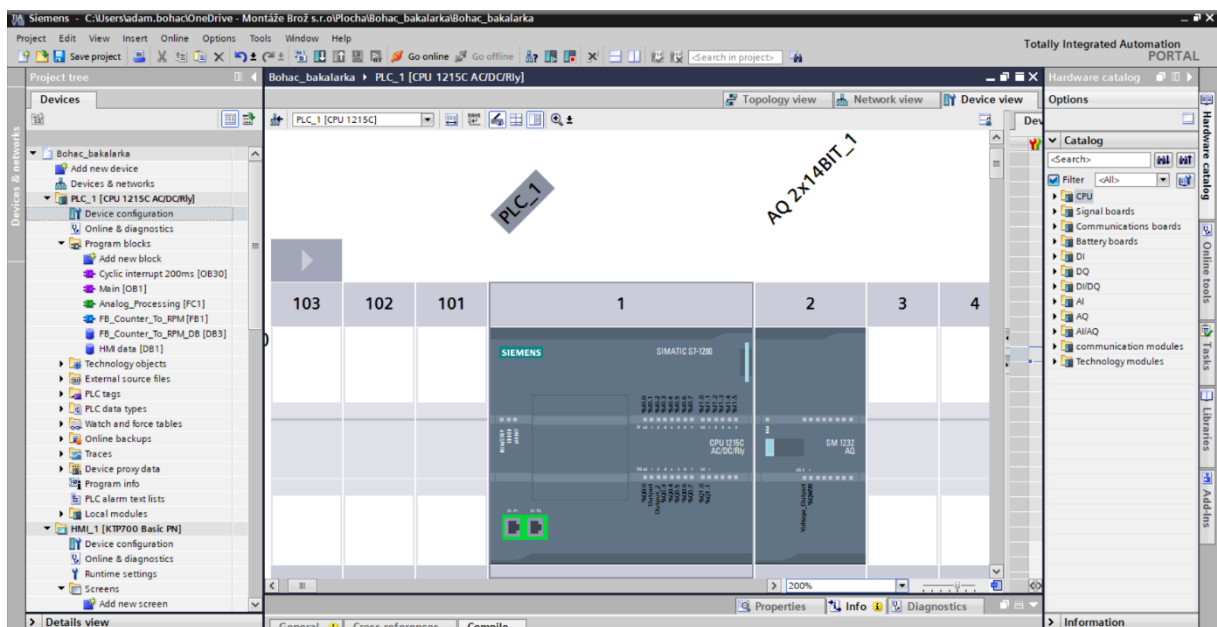
2.3 Softwarová realizace řízení motoru

Program pro řízení motoru byl napsán ve vývojovém prostředí TIA Portal (viz kapitola 2.3), použita byla nejnovější verze programu – V18. Jedná se o vývojové prostředí firmy Siemens a je na míru stavěné přímo pro PLC od totožné firmy. TIA Portal slouží jako prostředí pro programování PLC, zpracovávání vstupů, výpočty vnitřních veličin, nastavování výstupů nebo pro programování HMI panelu.

2.3.1 Založení projektu

Po nainstalování a prvním spuštění programu je potřeba založit nový projekt, jedná se o naprosto standardní a intuitivní proces.

Poté je potřeba do programu nahrát typ PLC a jeho přídatné moduly, které se budou pro program využívat. TIA Portal následně graficky zobrazuje vzhled PLC i přídatných modulů a při dostatečném přiblížení vypíše všechny dostupné vstupy a výstupy s jejich adresami, což je velmi užitečná funkce (obr. 21). Na obrázku níže je vidět zvolené PLC S7-1200 s přídatným modulem analogových výstupů. Výběr probíhá přes pravý panel s názvem „Catalog“.



Obr. 21: Grafický vzhled nahraného PLC a jeho adresy výstupů (Screenshot, TIA Portal V18)

Na grafickém zobrazení PLC (obr. 21) jsou také vidět 2 ethernetové porty. Jeden slouží pro propojení a komunikaci s PC, druhý pro propojení a komunikaci s HMI panelem.

V neposlední řadě je důležité v záložce „Properties“ PLC nastavit na stejnou IP adresu jako je PC, například pokud je adresa PC 192.168.x.x, musí být adresa PLC také 192.168.x.x.

2.3.2 Výběr programovacího jazyka

Pro programování byl zvolen programovací jazyk Ladder diagram (kapitola 2.4) pro jeho jednoduchost a univerzálnost. Ladder diagram funguje na principu reléové logiky, což program dělá přehledný a čitelný, ale naopak složitý pro komplikované systémy.

TIA Portal využívá pro větší přehlednost takzvané „Networks“, kdy se každý funkční blok programu dá rozdělit do několika podsítí. Každá síť provádí např. konkrétní výpočet, nebo nastavuje určitý výstup či hodnotu. Tato problematika bude detailněji popsána níže.

2.3.3 Použitý PLC Tags v programu

PLC tags									
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	Voltage_Output	Default tag table	Int	%QW96	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	HSC_1_INC	Default tag table	DWord	%ID1000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	INC_COUNTER	Default tag table	Dint	%MD1000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Tag_2	Default tag table	Real	%MD0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Analog_Current_Output_IN1	Default tag table	Int	%QW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Analog_Current_Output_IN2	Default tag table	Int	%QW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	<Add new>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

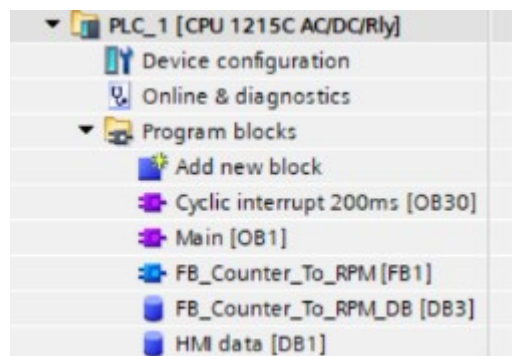
Obr. 22: PLC Tags programu (Screenshot, TIA Portal V18)

Pro účely této úlohy budou potřeba tyto proměnné:

- Voltage output – napěťový výstup pro řízení střídý PWM signálu
- HSC_1_INC – Vstupní adresa inkrementálního snímače
- INC_COUNTER – Memory bit čítače
- Tag_2 – sloužící jako memory bit pro konverzi PLC hodnoty do napětí

2.3.4 Použité funkční bloky v programu

Při založení nového projektu se automaticky vytvoří OB „Main“, který se využije pro základní zapisování a konvertování hodnot. Následně bude potřeba FB, ve kterém se provedou výpočty pro převádění signálu z inkrementálního snímače na otáčky za minutu. Tento blok bude použit v OB „Cyclic interrupt 200ms“, který zajistí periodické aktualizování naměřené rychlosti otáčení. Jako databáze proměnných pro FB se použije automaticky vygenerovaný DB „FB_Counter_To_RPM_DB“. Datový blok „HMI data“ umožní řízení motoru z HMI panelu.



Obr. 23: Seznam funkčních bloků v programu (Screenshot, TIA Portal V18)

Main [OB1]

Organizační blok Main se skládá z třech sítí (obr. 26):

- Network 1 – Použití funkce MOVE, pomocí které se například nastavují vnitřní proměnné, v tomto případě se ukládá hodnota čítače HSC_1 do vnitřní proměnné INC_COUNTER.
- Network 2 – Zde probíhá konverze požadované hodnoty PWM z HMI panelu do napěťové úrovně na výstupu. Na HMI panelu se zadává žádaná velikost střídání PWM signálu (%).
- Network 3 – Softwarové nastavení směru otáčení motoru z HMI panelu. Podle vybraného režimu se nastaví analogový výstup.

Střídání PWM signálu (0-100 %) je potřeba přepočítat na hodnotu 0,25-2,7V. Analogový výstup 0-10 V lze nastavovat hodnotou 0-27648, kdy 0 = 0 V a 27648 = 10 V (tab. 5). Rozmezí 0,25-2,7 V tedy odpovídá hodnotě analogového výstupu 700-7200 (tab. 6).

Proto je potřeba zadanou střídu („HMI data“: „Set_PWM_%“) čili žádanou hodnotu PWM nastavenou z HMI Panelu normalizovat na hodnotu 0 až 1 pomocí bloku NORM_X a tuto hodnotu následně přepočítat lineárním poměrem na výstupní napětí (blok SCALE_X).

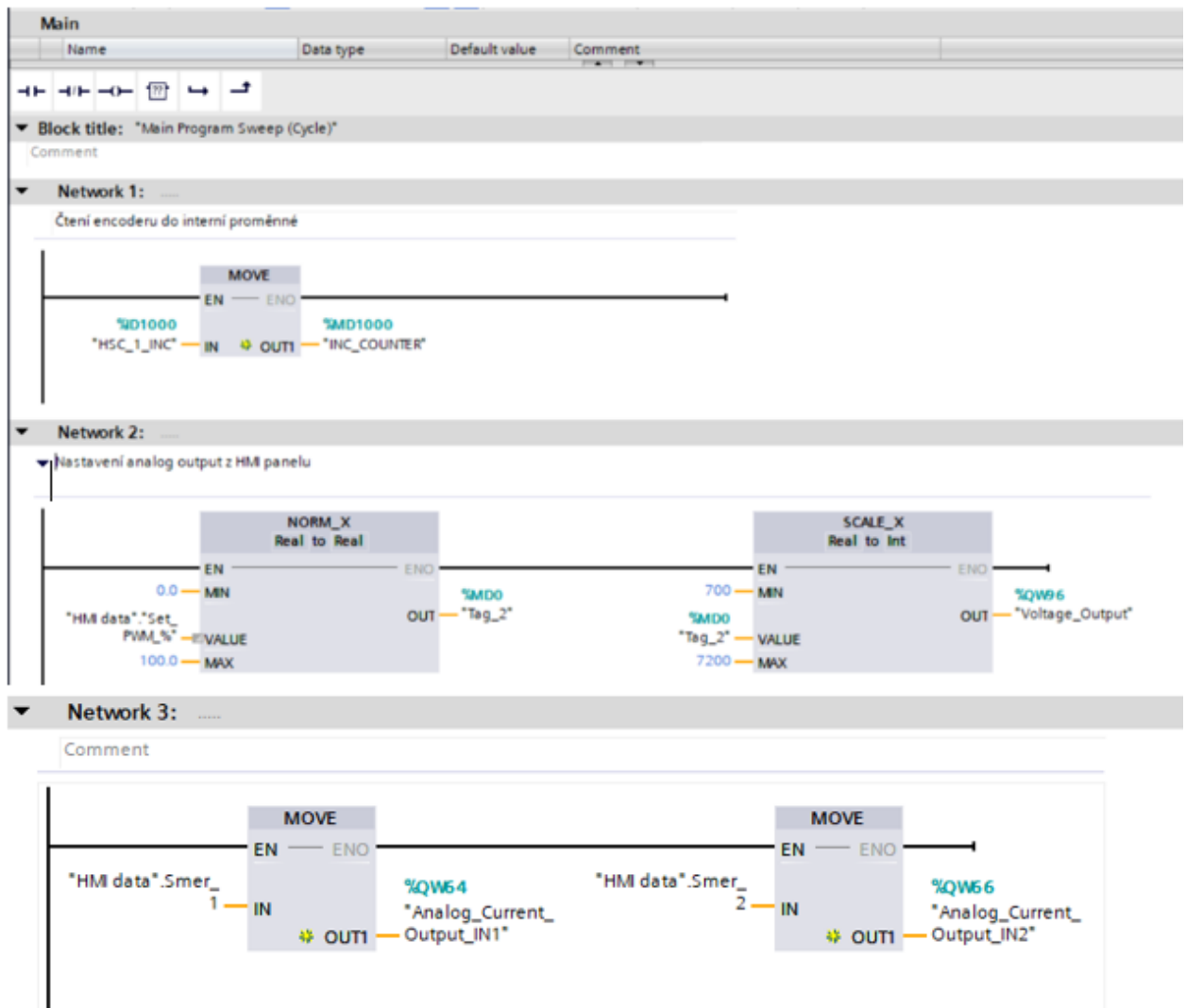
Tab. 5 Úměra napětí vůči hodnotě analogového výstupu

Požadované napětí [V]	Analog. hodnota výstupu
0	0
5	13 824
10	27 648

Tab. 6 Převodní poměry

Zadaná střída (%)	>	Normalizovaná hodnota	>	Výsledná analogová hodnota
50		0,5		3950

3950 odpovídá hodnotě
1,45V = střída 50 %



Obr. 24: Blok Main (Screenshot, TIA Portal V18)

FB_Counter_To_RPM

Tento funkční blok zajišťuje výpočet rychlosti otáčení motoru z informací přijatých z inkrementálního snímače. Vychází z následujícího vzorce: (CRAIG, 2018)

$$RPM = \frac{(C_1 - C_0)}{1 \text{ second}} \cdot \frac{1 \text{ revolution}}{\text{Number of counts}} \cdot \frac{60 \text{ seconds}}{1 \text{ minute}} \quad (4)$$

Rovnici (4) je potřeba následovně upravit, aby odpovídala vytvořenému programu a zvolenému hardwaru:

$$RPM = \frac{(C_1 - C_0)}{1 \text{ sekunda}/CycleTime} \cdot \frac{1 \text{ otáčka motoru}}{35 \text{ okýnek}} \cdot 60 \quad (5)$$

C1 ... Aktuální stav čítače

C0 ... Předchozí stav čítače

CycleTime ... 200ms

Celý tento blok je součástí cyklického přerušení 200ms.

- Network 3 (obr. 28) – Současná hodnota čítače se uloží do proměnné předchozí hodnoty čítače.
- Network 1 (obr. 25) – Načte se aktuální hodnota čítače a uloží se do vnitřní proměnné současné hodnoty. Poté se odečte současná hodnota čítače od předchozí a získá se jejich rozdíl, který se uloží do vnitřní proměnné.
- Network 2 (obr. 26 a 27) – Vypočítaný rozdíl se podělí poměrem jedné sekundy vůči času cyklického přerušení (Blok CALCULATE) a následně se podělí hodnotou odpovídající počtu okének na jednu otáčku (Blok DIV). Výslednou hodnotou je počet otáček motoru za jednu sekundu, vynásobením šedesáti se získá výsledný počet otáček za minutu neboli RPM.

Bohac_bakalarka > PLC_1 [CPU 1215C AG/DC/Rly] > Program blocks > FB_Counter_To_RPM [FB1]

FB_Counter_To_RPM

	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Input								
2	CycleTime	Int	0	Non-ret...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Output								
4	<Add new>								
5	InOut								
6	<Add new>								
7	Static								
8	Record_Counter	Dint	0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Current_Counter	Dint	0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	Delta_Counter	Dint	0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	Otacky_result_real	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	Otacky_result	Dint	0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	Otacky/sec	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	RPM	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

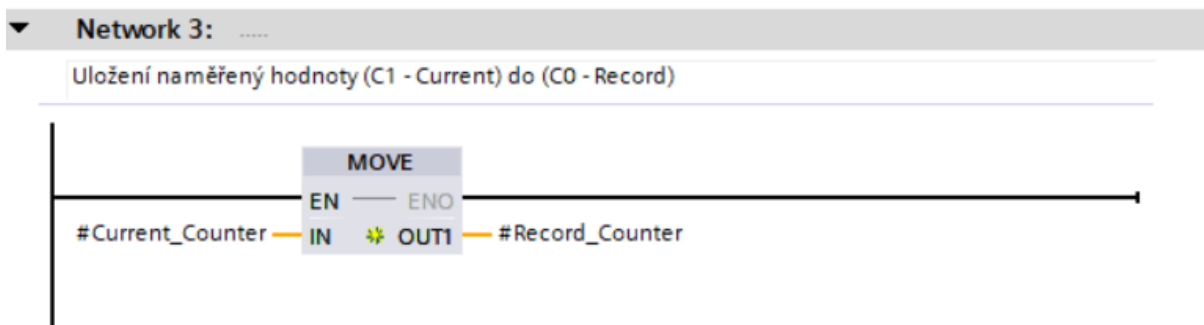
Network 1: C1-C0

Obr. 25: Databáze proměnných a Network 1 (Screenshot, TIA Portal V18)

Network 2: C1-C0 = delta (Network 1) - teď to musíme vydělit 1 sekundou (započítat musíme i 200ms interrupt) - poté dělíme počtem okének (1 otáčka = 35 okének)

Obr. 26: Network 2

Obr. 27: Pokračování Network 2 (Screenshot, TIA Portal V18)



Obr. 28: Network 3 (Screenshot, TIA Portal V18)

FB_Couter_To_RPM_DB

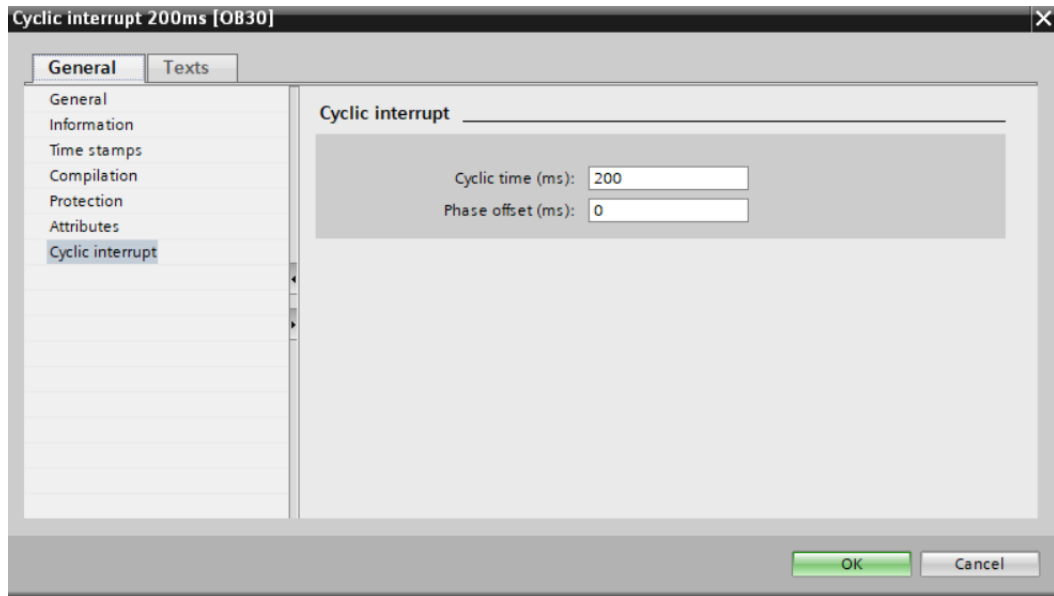
Datová centrála pro všechny potřebné proměnné použité ve výpočtu RPM (Obr. 29).

FB_Couter_To_RPM_DB									
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Input			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	CycleTime	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Output			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	InOut			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Record_Counter	DInt	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	Current_Counter	DInt	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Delta_Counter	DInt	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Otacky_result_real	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	Otacky_result	DInt	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	Otacky/sec	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	RPM	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

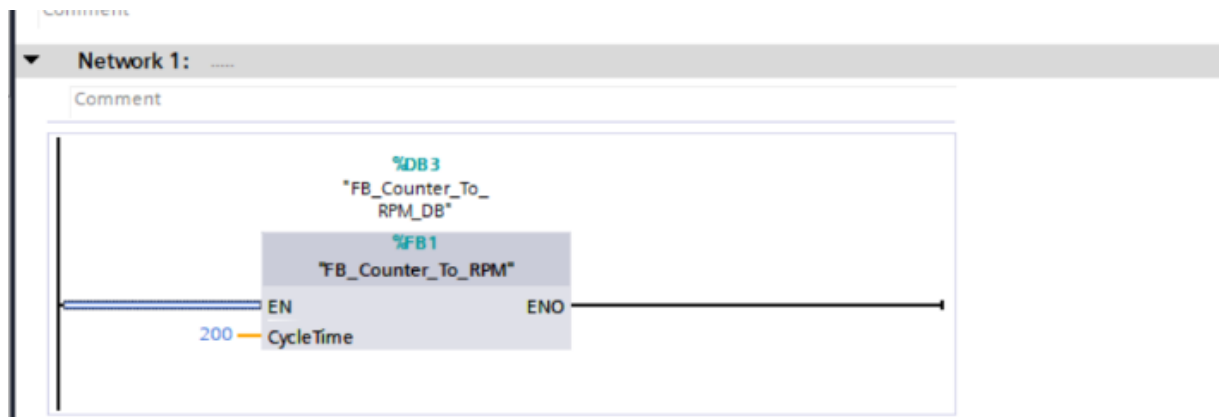
Obr. 29: Datový blok (Screenshot, TIA Portal V18)

Cyclic interrupt 200ms

Do tohoto organizačního bloku je zasazen FB na výpočet RPM. Čas, po kterém se vyvolá cyklické přerušení, se nastavuje přímo v nastavení bloku. Tento čas je nutné změnit i na vstupu do FB (obr. 31), aby výpočty probíhaly správně.



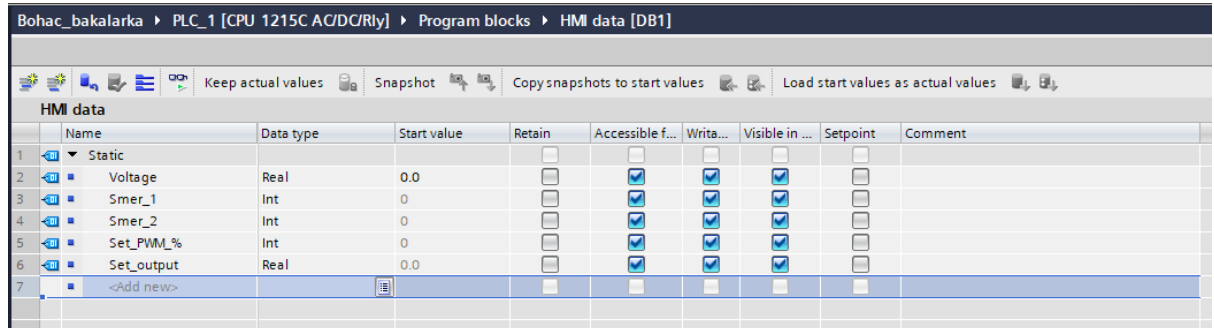
Obr. 30: Nastavení intervalu přerušení OB (Screenshot, TIA Portal V18)



Obr. 31: Network 1 bloku cyklického přerušení (Screenshot, TIA Portal V18)

HMI data

Pro větší přehlednost byl vytvořen další datový blok, ve kterém se ukládají hodnoty nastavené z HMI panelu. Z HMI panelu se nastavuje střída PWM signálu a směr otáčení.

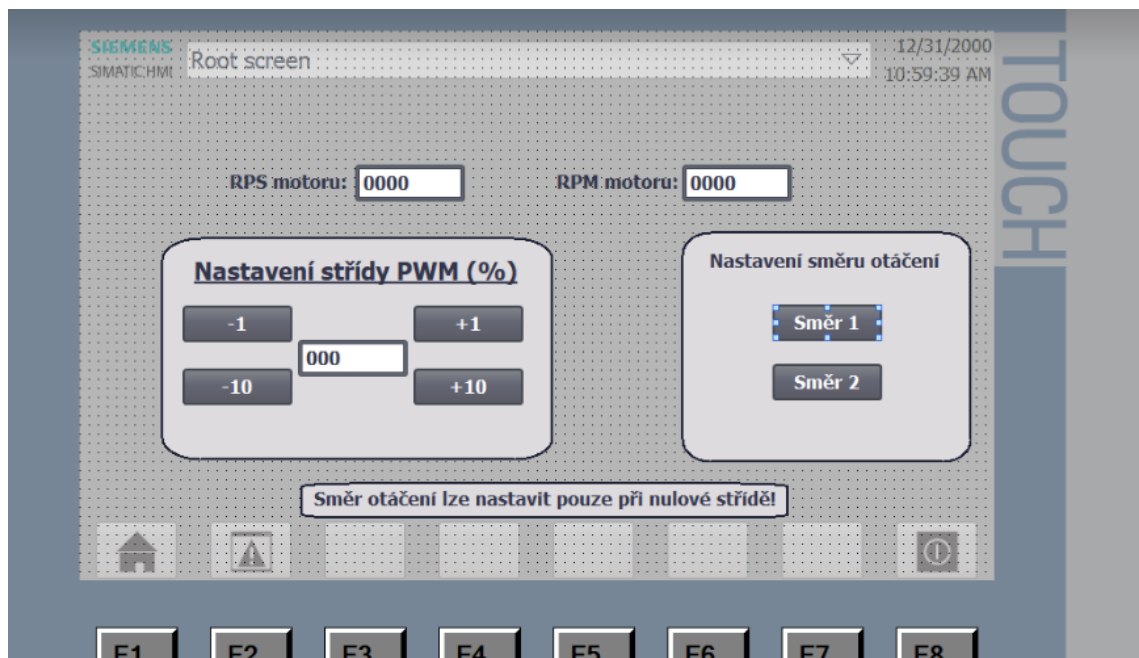


	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Voltage	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Smer_1	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Smer_2	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Set_PWM_%	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Set_output	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	<Add new>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Obr. 32: Datový blok HMI Panelu (Screenshot, TIA Portal V18)

2.3.5 HMI Panel

Na HMI Panelu se dají zobrazovat jakékoliv proměnné a statické hodnoty z jakékoliv databáze, která v projektu existuje. Zároveň lze pomocí tlačítek a textových polí přepisovat proměnné v reálném čase (obr. 33). Na HMI panelu se vypisují vypočítané hodnoty RPS a RPM, zároveň lze měnit střidu PWM signálu pomocí tlačítek a textového pole. Textové pole také vypisuje aktuálně nastavenou hodnotu střidy signálu.



Obr. 33: Uživatelské rozhraní na HMI Panelu (Screenshot, TIA Portal V18)

2.4 Testování a zhodnocení naměřených veličin

Po startu programu čili po přepnutí PLC do režimu RUN, jsou všechny veličiny nastavené na nulové hodnotě. Program čeká, než obsluha vybere směr otáčení motoru. Střída PWM signálu nastavit lze, ale motor se neroztočí, dokud se nevybere směr otáčení. Po vybrání směru se motor roztočí dle nastavené PWM střídy. Směr otáčení lze změnit pouze při nulové střídě, tudíž toto menu s výběrem směru otáčení při běžícím motoru zmizí.

Pro kontrolu správného běhu programu byl na Enable H-můstku připojen osciloskop pro porovnání naměřené a nastavené střídy signálu (tab. 7). Je zde vidět naměřená odchylka, která má maxima v 50-60% nastavené střídy a činí až 5,88 %. Tato odchylka je způsobená drobnou nelinearitou U/PWM převodníku. Ovšem s touto drobnou nelinearitou se počítalo a na běh programu nemá zásadní vliv. Druhým faktorem zmíněné odchylky je odchylka v nastavení převodníku PLC programu. V programu se počítá s fixními hranicemi U/PWM převodníku tzn., že vstup do převodníku je vždy v rozmezí (0,25-2,7V), tato hranice se v řádu desítek mV mění, a proto se může stát, že nastavovaná škála napětí se drobně liší od reálné škály napětí. Program také počítá s lineárním průběhem, což souvisí s prvním faktorem odchylky.

Další měřenou hodnotou v tabulce (tab. 7) byla střední hodnota napětí na motoru, která úzce souvisí s otáčkami motoru. Nezatížený motor se roztáčí kolem hodnoty 2 V. Otáčky motoru se nelineárně zvedají s rostoucím napětím na motoru. Největší nárůst otáček je zaznamenán do střídy 50 %, při které se motor točí kolem 1000 ot/min, přičemž maximální otáčky motoru při plné propustnosti činí 1364 ot/min. Zajímavé je, že i při 100 % střídě čili plné propustnosti signálu je měřené napětí na motoru pouze 10,6 V, přičemž zdroj je 12 V DC. Úbytek napětí je způsoben sériovým zapojením dvou bipolárních tranzistorů v H-můstku, kdy každý tranzistor má úbytek 0,7 V. Pokud by na H-můstku nevznikal žádný úbytek a napětí na motoru by dosahovalo 12 V, vystoupali by otáčky až na hodnotu 1650 ot/min. Při změně směru nebyla zaznamenána žádná odchylka, proto tato tabulka platí pro oba směry.

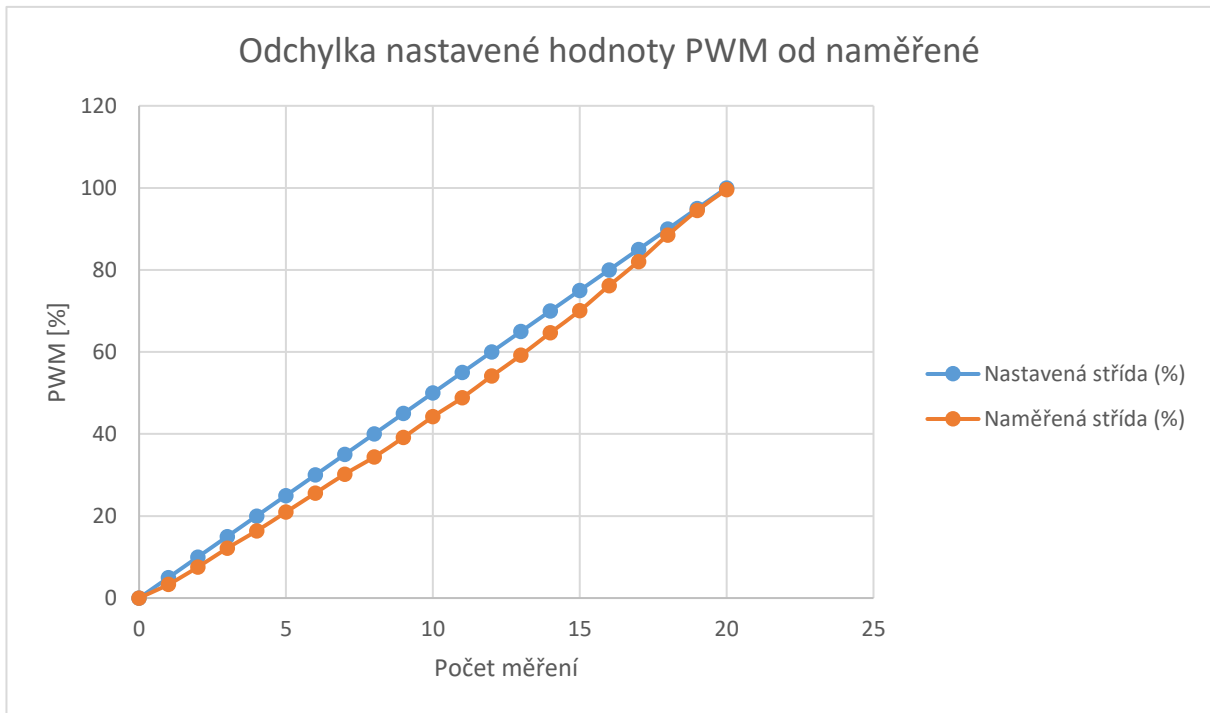
Z obr. 36 a obr. 37 lze vyčíst, že motor potřebuje přibližně 100 ms, než dojde k úplnému rozběhnutí nebo zastavení motoru.

Obr. 38 znázorňuje reakční dobu systému, kde červený průběh je žádaná hodnota PWM signálu a černý průběh značí reálné otáčky motoru. Odchylka času při zastavení motoru od času nastavení nulové střídy činí asi 1000 ms. Systému trvá jednu sekundu,

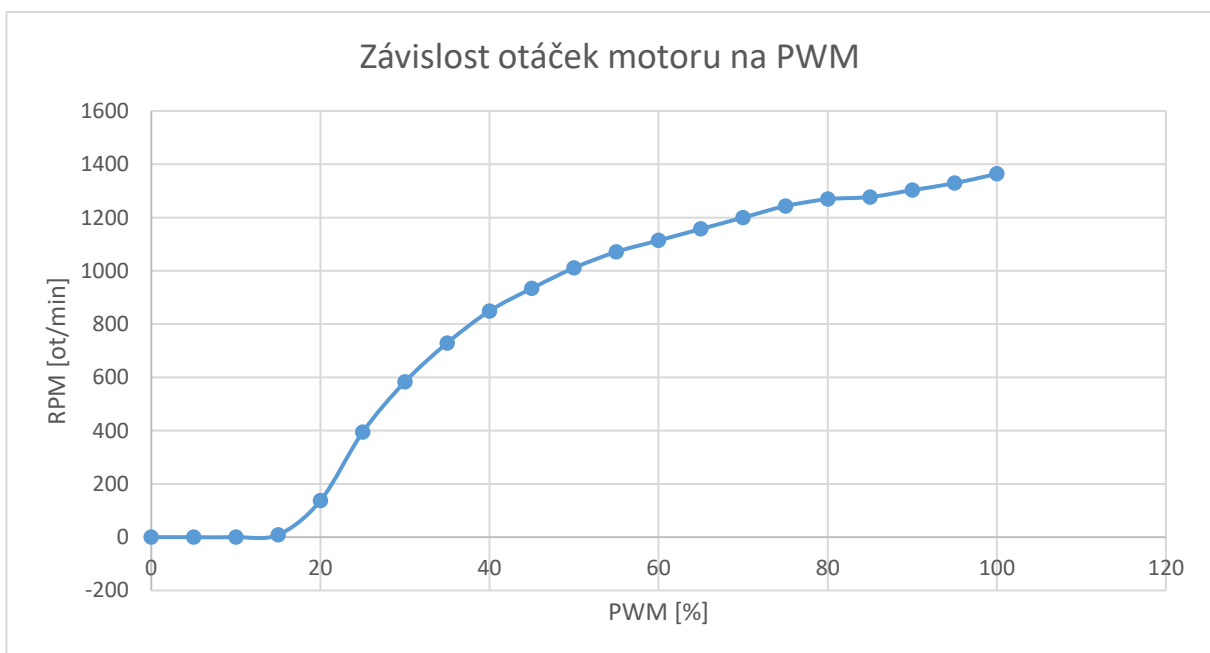
než požadavek obsluhy zpracuje a zastaví motor. Reakční doba je stejná při jakémkoliv změně PWM signálu. Naměřené charakteristiky byly foceny, protože TIA Portal nenabízí možnost screenshotu HMI Panelu.

Tab. 7 Naměřené veličiny

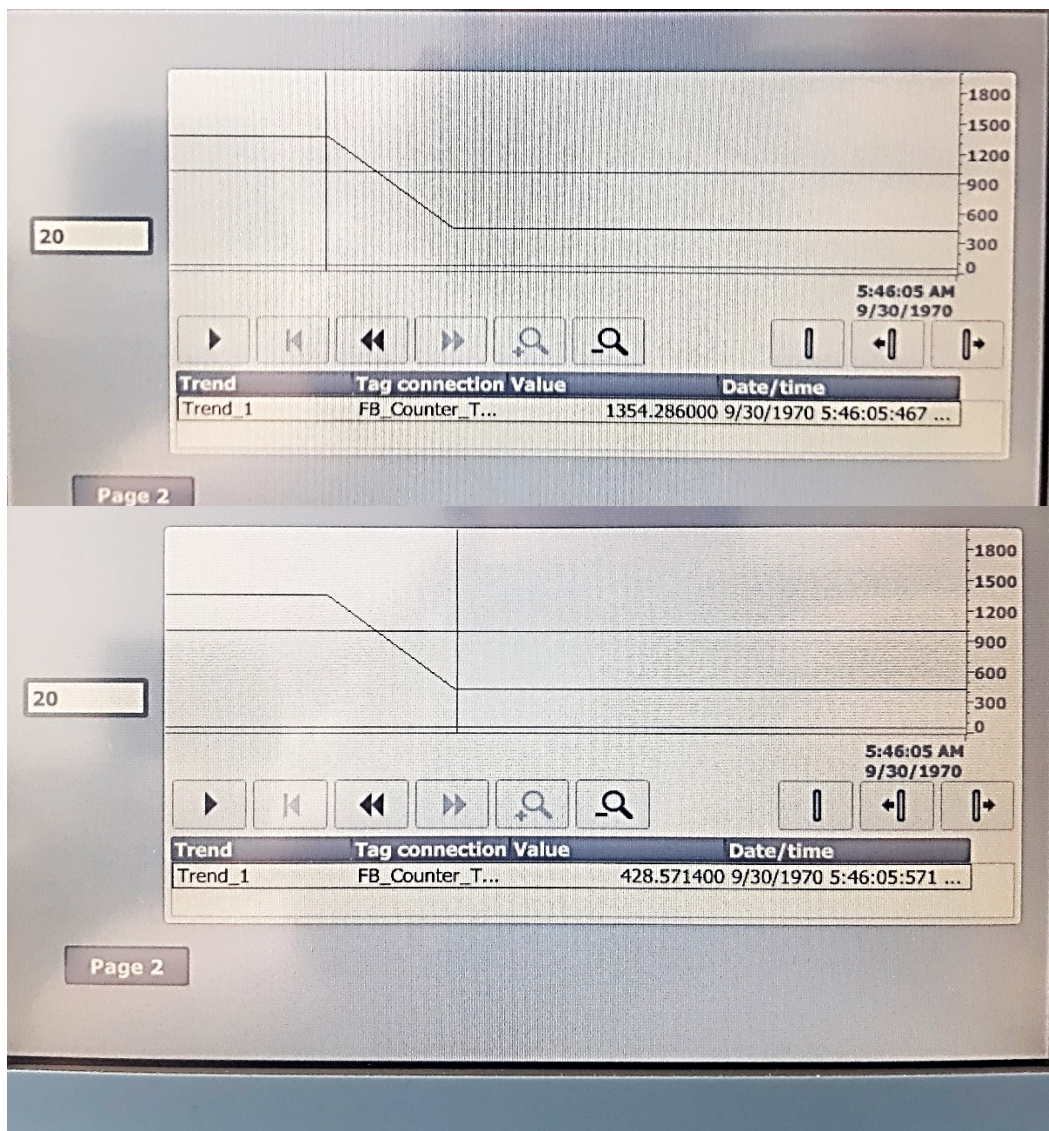
Nastavená střída PWM [%]	Reálná střída PWM [%]	RPM [ot/min]	Střední hodnota napětí na motoru [V]
0	0	0	0
5	3,34	0	0,13
10	7,54	0	0,4
15	12,16	9	0,88
20	16,35	137	2,07
25	20,96	394	4,23
30	25,58	583	5,27
35	30,19	729	6,43
40	34,38	849	7,13
45	39,16	934	7,79
50	44,21	1011	8,23
55	48,84	1071	8,61
60	54,12	1114	8,92
65	59,2	1157	9,26
70	64,69	1200	9,44
75	70,06	1243	9,69
80	76,17	1269	9,88
85	82,05	1277	10,07
90	88,51	1303	10,24
95	94,49	1329	10,4
100	99,58	1364	10,6



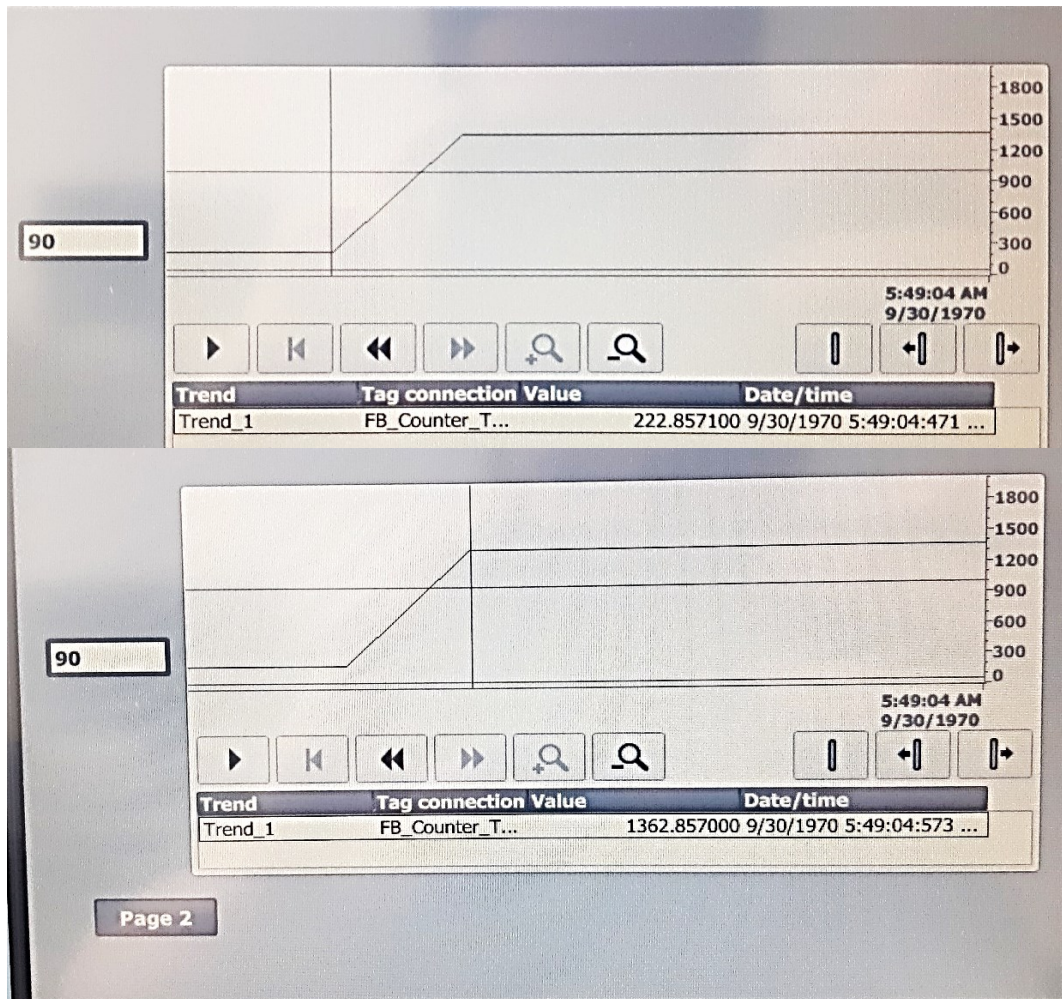
Obr. 34: Graf odchylky nastaveného a naměřeného PWM signálu (Excel, 2016)



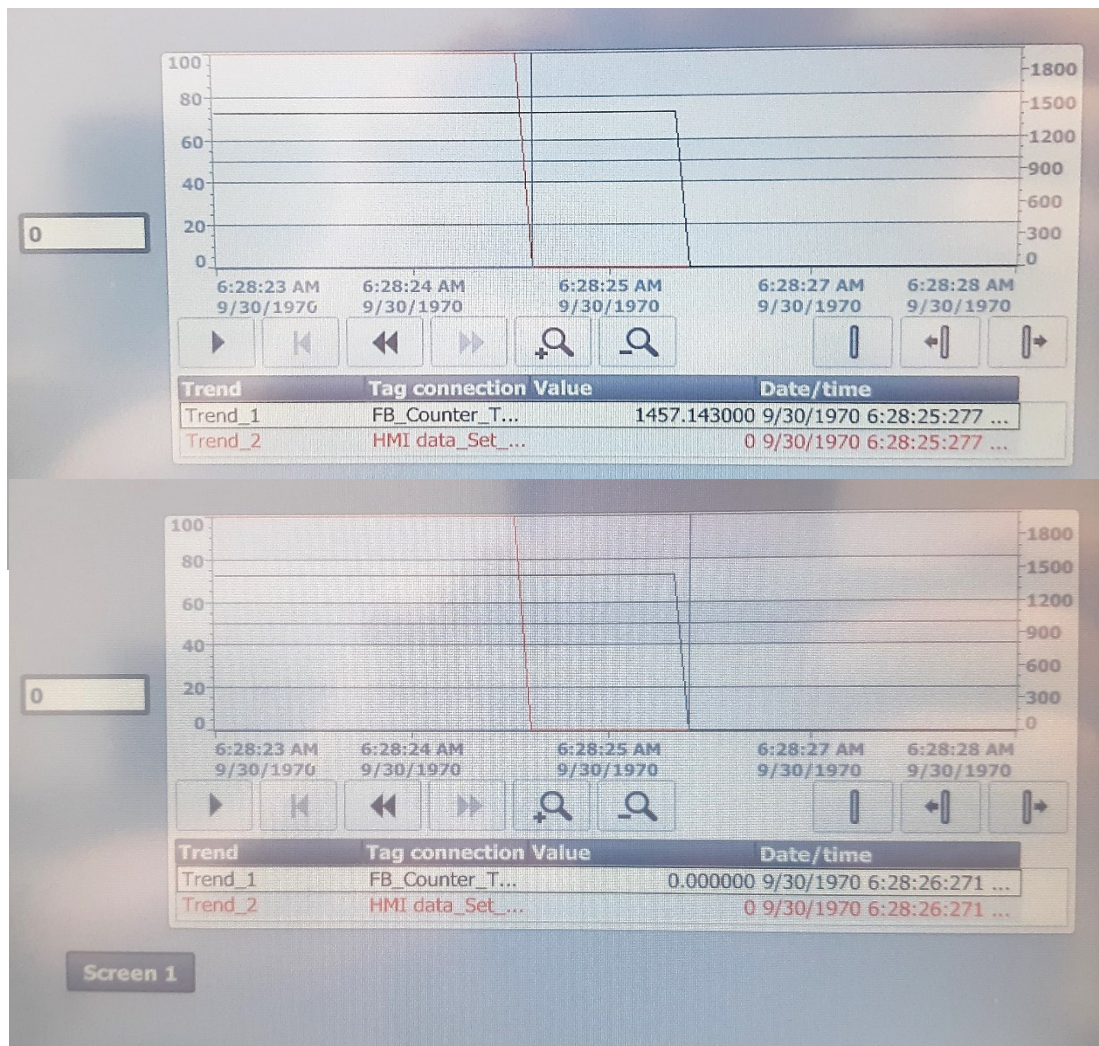
Obr. 35: Graf změny otáček motoru při změně PWM signálu (Excel, 2016)



Obr. 36: Průběh zastavení motoru (TIA Portal V18, fotografie)



Obr. 37: Průběh rozběhu motoru (TIA Portal V18, fotografie)



Obr. 38: Reakční doba systému (TIA Portal V18, fotografie)

ZÁVĚR

K řízení modelu byl využit PLC automat od firmy Siemens, který je hojně využíván v průmyslové praxi. V teoretické části bylo uvedeno stručné seznámení s PLC automaty, jejich typy a možnostmi výběru programovacích jazyků. Výběr PLC automatu by neměl být podceněn, protože se jedná o investici v řádu až desítek tisíc korun a špatný výběr může následnou práci velmi zkomplikovat. Například tato práce demonstruje, jak komplikované je řídit stejnosměrný motor, pokud PLC neobsahuje PWM výstup.

V praktické části proběhlo ozkoušení práce s vývojovým prostředím TIA Portal, který se používá k programování PLC automatů. Otestování znalostí proběhlo na laboratorním modelu, který je řízen programem vytvořeným v TIA Portalu. Pro snadné řízení motoru bylo vytvořeno uživatelské rozhraní na HMI panelu, ze kterého lze motor řídit.

V této práci není využité zpětnovazební řízení. Dochází zde pouze k přímému nastavení PWM signálu z HMI Panelu, ovšem tato práce je připravená na přidání PID regulace, resp. jsou měřeny a nastavovány totožné hodnoty, které by byly potřeba pro PID regulaci.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ANTON, Kelly. Programming with Structured Control Language (SCL). *PCCWeb* [online]. 2021 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.pccweb.com/wp-content/uploads/2021/11/S8-Oktoberfest-2021-PCC-SCL.pdf>

Basics of FB Programming with SIMATIC S7-1200. *SIEMENS AG* [online]. Německo, 2018 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/basics-programming-s7-1200/sce-031-200-fb-programming-s7-1200-r1709-en.pdf>

CRAIG, K. *Optical Encoders: Actuators & Sensors in Mechatronics* [online]. 2018 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: http://engineering.nyu.edu/mechatronics/Control_Lab/Criag/Craig_RPI/SenActinMecha/S&A_Optical_Encoders.pdf

HORÁČEK, Bc. Patrick. *Regulace s využitím PLC Siemens S-1200*. Pardubice, 2019, 59 s. Dostupné také z: <https://dk.upce.cz/handle/10195/73901>. Diplomová práce. UPCE. Vedoucí práce Ing. Daniel Honc, Ph.D.

H-můstek L298N. *Laskakit* [online]. 2023 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/h-mustek-pro-krokovy-motor-l298n--dualni-motorovy-modul/>

LÍBAL, Václav. *Řízení modelu teplovzdušného tunelu pomocí PLC Siemens SIMATIC*. Pardubice, 2016, 46 s. Dostupné také z: <https://dk.upce.cz/handle/10195/68103>. Bakalářská práce. UPCE. Vedoucí práce Ing. Petr Doležal, Ph.D.

L298N Datasheet. *Alldatasheet* [online]. 2000 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/22440/STMICROELECTRONICS/L298N.html>

Optočlen PC 817 s tranzistorem. *Dratek* [online]. 2019 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1252-optoclen-pc817-s-tranzistorem.html>

PC 817 Datasheet. *Alldatasheet* [online]. 1995 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/43368/SHARP/PC817.html>

SESTAVA PLC. *PLC-Automatizace* [online]. Praha, 2021 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/plc/plc-hw-sestava.htm>

SIMATIC HMI KPT 700 Basic. *SIEMENS* [online]. Německo, 2022 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6AV2123-2GB03-0AX0>

SIMATIC HMI KPT700 Basic. *Eibabo* [online]. Česká republika, c1997-2023 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z:

<https://www.eibabo.cz/siemens/simatic-hmi-ktp700-basic-graficky-panel-7inch-6av2123-2gb03-0ax0-eb16104597>

SIMATIC SM 1232. *SIEMENS* [online]. Německo, 2022 [cit. 2023-05-02].

Dostupné z:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7232-4HB32-0XB0>

SIEMATIC S7-1200. *SIEMENS* [online]. Německo, 2022 [cit. 2023-05-02].

Dostupné z:

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/catalog/product/6es7215-1bg40-0xb0>

SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller. *SIEMENS* [online]. Německo, 2022 [cit. 2023-05-01]. Dostupné z:

<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109814829/simatic-s7-s7-1200-programmable-controller?dti=0&lc=en-FI>

Step 7 Elementary Data Types. *PLCdev* [online]. c2005-2023 [cit. 2023-05-02].

Dostupné z: http://www.plcdev.com/step_7_elementary_data_types

Symbol Table Allowed Addresses and Data Types. *PLCdev* [online]. c2005-2023 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z:

http://www.plcdev.com/symbol_table_allowed_addresses_and_data_types

S7-300 SIEMENS. *Wiautomation* [online]. Německo, 2023 [cit. 2023-05-02].

Dostupné z: https://cz.wiautomation.com/siemens/plc-systems/simatic-s7/s7-300/6ES73146EH040AB0?gclid=CjwKCAjwxr2iBhBJEiwAdXECww2QjN9svy7YyB5nhhtso3sLvPdvV-cvPOcPpN7iQ_Zrzzr4B4nL9BoCJjoQAvD_BwE

YAHIA, Redouane Ait Ali. Basic Ladder Logic Instructions. *SolisPLC* [online].

2022 [cit. 2023-05-02]. Dostupné z: <https://www.solisplc.com/tutorials/siemens-tia-portal-programming-example-basic-ladder-logic-instructions>

PŘÍLOHY

A – CD – Bakalářská práce

PŘÍLOHA A – CD

- Zdrojové kódy (TIA Portal)
- Eagle schémata