

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**NÁVRH ŘÍDICÍHO SYSTÉMU BRUSKY LEDNÍCH BRUSLÍ**

Martin Kylar

Bakalářská práce

2022

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

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin Kylar**  
Osobní číslo: **I19030**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Řízení procesů**  
Téma práce: **Řídicí systém brusky ledních bruslí**  
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

## Zásady pro vypracování

Cíl práce: Navrhnout a realizovat řídicí systém brusky ledních bruslí s uživatelským rozhraním.

Obsah teoretické práce: Provedení řešení v oblasti řídicích systémů. Způsoby ovládání krokových a asynchronních motorů s využitím driveru a frekvenčního měniče. Hardware PLC. Možnosti programování, komunikace a vizualizace PLC.

Obsah praktické práce: Vytvoření automatizovaného systému pro stávající manuálně ovládaný stroj brusky ledních bruslí. Návrh řešení využívající PLC značky Siemens a prvky pro komunikaci s uživatelem. Tvorba softwaru PLC pro lineární posuv poháněný krokovým motorem v zapojení s driverem a ovládní otáček brusného kotouče poháněného asynchronním motorem napájeným frekvenčním měničem. Součástí práce bude vytvoření programu pro HMI panel.

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

**Seznam doporučené literatury:**

L. Šmejkal, M. Martinásková, PLC a automatizace 1, BEN – technická literatura, Praha 1999  
Martinásková, M., Šmejkal, L.:Řízení programovatelnými automaty, skriptum ČVUT FSI, Praha 1998,  
Praha 2004 – 2.vydání  
UHLÍŘ, Ivan. Elektrické stroje a pohony. Vyd. 2. přeprac. Praha: ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03730-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Daniel Honc, Ph.D.**  
Katedra řízení procesů

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

**Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.** v.r.  
děkan

LS.

**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. 5. 2022

Martin Kylar

## **Poděkování**

Tímto bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Danielu Honcovi, Ph.D., za vstřícnost a ochotu při řešení jakéhokoliv požadavku a problému. Také bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu po celou dobu studia.

V Pardubicích dne 13. 5. 2022

Martin Kylar

## **ANOTACE**

*Práce je věnována návrhu a realizaci řídicího systému pro stroj brusky ledních bruslí. V teoretické části se pojednává o principech a funkcionalitách prvků pro automatizované řízení. Praktická část je věnována popisu dosavadního stavu stroje brusky, dále se zabývá samotným návrhem komponent řídicího systému, jejich komunikačním propojením a tvorbou softwaru pro programovatelný automat a vizualizační jednotku.*

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

*bruska ledních bruslí, programovatelný automat, frekvenční měnič, HMI displej.*

## **TITLE**

***ICE SKATE GRINDER CONTROL SYSTEM***

## **ANNOTATION**

*The work is devoted to the design and implementation of a control system for an ice skate grinder machine. The theoretical part deals with the principles and functionalities of elements for automated control. The practical part is devoted to the description of the current state of the grinding machine, it also deals with the design of the control system components, their communication interconnection and the creation of software for the programmable controller and visualization unit.*

## **KEYWORDS**

*Ice skate grinder, Programmable controller, Frequency converter, HMI display*

## OBSAH

Seznam zkratk a značek .....	9
Seznam symbolů proměnných veličin a funkcí .....	10
Seznam ilustrací .....	11
Seznam tabulek .....	13
Úvod .....	14
1 Teoretická část .....	15
1.1 Programovatelné automaty .....	15
1.1.1 Druhy sestav PLC .....	15
1.1.2 Základní skladba PLC .....	18
1.1.3 Zpracování programu PLC .....	20
1.1.4 Programovací jazyky PLC .....	22
1.2 Krokový motor .....	25
1.2.1 Konstrukční uspořádání .....	25
1.2.2 Statický moment síly motoru .....	28
1.2.3 Dynamický moment síly motoru .....	28
1.3 Driver krokového motoru .....	30
1.3.1 Driver motoru s proměnnou reluktancí .....	30
1.3.2 Driver motoru s aktivním rotorem .....	31
1.3.3 Způsoby buzení motoru .....	32
1.3.4 Mikro krokové ovládání motoru .....	34
1.4 Spínaný zdroj .....	35
1.4.1 Spínané zdroje bez transformátoru .....	36
1.4.2 Spínané zdroje s frekvencí vyšší než síťové .....	37
1.5 Profinet .....	38
1.5.1 Komunikace v reálném čase (RT) .....	39
1.5.2 Standardní komunikace (NRT) .....	39
1.5.3 Izochronní komunikace (IRT) .....	39
1.6 Rotační enkodér .....	39
1.6.1 Konstrukční uspořádání .....	40
1.6.2 Inkrementální enkodéry .....	40
1.6.3 Absolutní enkodéry .....	41
1.7 Asynchronní motor .....	42

1.7.1	Konstrukční uspořádání .....	43
1.7.2	Momentová charakteristika .....	44
1.7.3	Spouštění motoru .....	45
1.7.4	Řízení rychlosti otáček motorů .....	46
1.8	Frekvenční měnič .....	47
1.8.1	Druhy frekvenčních měničů .....	47
1.8.2	Metody frekvenčního řízení .....	50
1.8.3	Ovládání frekvenčního měniče .....	50
2	Praktická část .....	51
2.1	Problematika ostření bruslí .....	51
2.1.1	Profil čepele .....	51
2.1.2	Princip broušení čepele .....	52
2.2	Výchozí stav .....	53
2.2.1	Původní konstrukce stroje .....	53
2.2.2	Původní ovládání stroje .....	55
2.3	Návrh řešení .....	57
2.3.1	Požadované funkce a ovládání stroje .....	57
2.3.2	Blokové schéma zařízení .....	59
2.3.3	Řídicí systém stroje .....	60
2.3.4	SW v PLC .....	72
3	Závěr .....	86
	Použitá literatura .....	87
	Přílohy .....	89



## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

A/D	analogově digitální převodník
CPU	centrální procesorová jednotka
D/A	digitálně analogový převodník
EEPROM	elektricky vymazatelná paměť pouze pro čtení
FB	funkční blok
FBD	Jazyk funkčních bloků
GSD	informace o charakteristice zařízení
HMI	uživatelské rozhraní
IL	jazyk seznamu instrukcí
IP	internetový protokol
IRT	izochronní reálný čas
ISO/OSI	mezinárodní organizace pro normalizaci / propojování otevřených systémů
LD	jazyk příčkového diagramu
LED	elektroluminiscenční dioda
MAC	řízení přístupu k médiím
NRT	bez reálného času
OB	organizační blok
PA	programovatelný automat
PDU	protokolová datová jednotka
PLC	programovatelný logický automat
PWM	pulzně šířková modulace
RAM	paměť s náhodným přístupem
ROM	paměť pouze pro čtení
RT	reálný čas
SD	označení paměťové karty
ST	jazyk strukturovaného textu
TFT	tenkovrstvý tranzistor
TIA	plně integrovaný portál pro automatizaci
USB	univerzální sériová sběrnice

## SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ

$f$	frekvence napájení statoru, Hz
$f_{am}$	mezní rozběhová frekvence, Hz
$M_{am}$	mezní rozběhový moment, N·m
$M_{bm}$	mezní provozní moment, N·m
$M_k$	záběrný moment, N·m
$M_{max}$	maximální moment, N·m
$M_s$	statický moment, N·m
$M_{sv}$	statický vazební moment, N·m
$n$	mechanické otáčky rotoru, ot·min <sup>-1</sup>
$n_s$	otáčky točivého magnetického pole statoru, ot·min <sup>-1</sup>
$p$	počet pólových dvojic statoru
$s$	skluz
$S$	úhlový krok, rad
$s_{max}$	skluz zvratu
$U_{ref}$	referenční napětí, V
$\Delta U$	rozdíl napětí mezi vstupem a výstupem stabilizátoru, V
$\theta$	natočení hřídele motoru, rad

## SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Siemens S7-1200 (Siemens, s.r.o., nedatováno) .....	17
Obr. 1.2 – Siemens S7-400 (Siemens, s.r.o., 2020a) .....	18
Obr. 1.3 – Blokové schéma PLC (Hanssen, 2015) .....	20
Obr. 1.4 – Cyklus činnosti PLC (Beneš, 2005) .....	21
Obr. 1.5 – Ukázka programu v jazyce LD (Beneš, 2005) .....	23
Obr. 1.6 – Ukázka programu v jazyce FBD (Beneš, 2005) .....	23
Obr. 1.7 – Ukázka programu v jazyce IL (Beneš, 2005) .....	24
Obr. 1.8 – Konstrukční uspořádání motoru s proměnnou reluktancí (Uhlíř, 2007) .....	26
Obr. 1.9 – Konstrukční uspořádání motoru s aktivním rotorem (Uhlíř, 2007) .....	26
Obr. 1.10 – Konstrukční uspořádání hybridního motoru (Uhlíř, 2007) .....	27
Obr. 1.11 – Momentová charakteristika krokového motoru (Hrabovcová, 2001) .....	29
Obr. 1.12 – Koncový stupeň driveru motoru s proměnnou reluktancí .....	30
Obr. 1.13 – Koncový stupeň driveru pro unipolární ovládání motoru .....	31
Obr. 1.14 – Koncový stupeň driveru pro bipolární ovládání motoru .....	32
Obr. 1.15 – Bipolární jednofázové buzení s plným krokem (Elektronická učebnice, 2014) ..	32
Obr. 1.16 – Bipolární dvoufázové buzení s plným krokem (Elektronická učebnice, 2014) ..	33
Obr. 1.17 – Bipolární buzení s polovičním krokem (Elektronická učebnice, 2014) .....	33
Obr. 1.18 – Průběhy proudů fází při mikrokrokování (Servo-drive s.r.o., nedatováno) .....	34
Obr. 1.19 – Schéma stabilizátoru napětí s regulačním členem .....	35
Obr. 1.20 – Schéma spínaného zdroje s tyristorem (Babčaník, 2007) .....	36
Obr. 1.21 – Blokové schéma spínaného zdroje s transformátorem (Babčaník, 2007) .....	37
Obr. 1.22 – Referenční model ISO/OSI standardu Profinet (Profinet University, 2018) .....	38
Obr. 1.23 – Rámec Profinet komunikace v reálném čase (Profinet University, 2018) .....	39
Obr. 1.24 – Rámec Profinet standardní komunikace (Profinet University, 2018) .....	39
Obr. 1.25 – Znázornění funkce enkodéru (Vojáček, 2017) .....	40
Obr. 1.26 – Průběhy signálů inkrementálního enkodéru (Vojáček, 2017) .....	41
Obr. 1.27 – Porovnání disků binárního a Grayova kódování (Vojáček, 2017) .....	42
Obr. 1.28 – Rotorová klec motoru s kotvou nakrátko (Uhlíř, 2007) .....	43
Obr. 1.29 – Momentová charakteristika motoru s kotvou nakrátko (Uhlíř, 2007) .....	45
Obr. 1.30 – Znázornění výkonového stupně maticového měniče (Novák, 2016) .....	48
Obr. 1.31 – Znázornění měniče s konstantním napětím (Novák, 2016) .....	49
Obr. 1.32 – Výkonový obvod IGBT (Semikron, nedatováno) .....	49

Obr. 2.1 – Znázornění zakřiveného žlábků čepele brusle (StateNY, 2007) .....	52
Obr. 2.2 – Stroj brusky před zautomatizováním .....	53
Obr. 2.3 – Ukázka stroje brusky s upevněnou bruslí .....	54
Obr. 2.4 – Panel stroje brusky původního ovládání .....	55
Obr. 2.5 – Původní schéma zapojení elektroniky stroje brusky .....	56
Obr. 2.6 – Požadované funkce joysticku v ručním režimu .....	58
Obr. 2.7 – Požadované funkce joysticku v automatickém režimu .....	59
Obr. 2.8 – Blokové schéma řídicího systému .....	60
Obr. 2.9 – Krokový motor pohonu brusky .....	61
Obr. 2.10 – Driver krokového motoru .....	62
Obr. 2.11 – Schéma zapojení PLC, driveru a krokového motoru .....	63
Obr. 2.12 – Schéma připojení napájení a periférií k vývodům PLC (Siemens, s.r.o, 2014) ..	64
Obr. 2.13 – Zjednodušené schéma zapojení vstupů a výstupů PLC .....	65
Obr. 2.14 – Rozložené PLC Simatic 1212C .....	65
Obr. 2.15 – Frekvenční měnič FRENIC-Ace (Amtek, s.r.o., 2018a) .....	67
Obr. 2.16 – Rozšiřující multiprotokolová komunikační karta (Amtek, s.r.o., 2018b) .....	67
Obr. 2.17 – HMI displej Siemens KTP400 Basic (Siemens, s.r.o., 2020c) .....	68
Obr. 2.18 – Schéma zapojení řídicího systému .....	69
Obr. 2.19 – Zapojení rozvaděče .....	70
Obr. 2.20 – Ovládací panel .....	71
Obr. 2.21 – Portálový vzhled obrazovky vývojového prostředí .....	72
Obr. 2.22 – Obrazovka vývojového prostředí s vloženými komponentami .....	73
Obr. 2.23 – Obrazovka vývojového prostředí pro nastavení IP adresy PLC .....	74
Obr. 2.24 – Obrazovka programu Electric Configuration Studio .....	75
Obr. 2.25 – Obrazovka vývojového prostředí nastavení dynamiky pohonu .....	77
Obr. 2.26 – Obrazovka HMI displeje po spuštění stroje .....	78
Obr. 2.27 – Obrazovka HMI displeje signalizující provedení kalibrace .....	79
Obr. 2.28 – Obrazovka HMI displeje automatického režimu broušení .....	80
Obr. 2.29 – Obrazovka HMI displeje procesu leštění .....	80
Obr. 2.30 – Vývojový diagram programu PLC, 1. část .....	81
Obr. 2.31 – Vývojový diagram programu PLC, 2. část .....	82
Obr. 2.32 – Vývojový diagram programu PLC, 3. část .....	83

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 – Technické parametry modelu LOGO! 8 Basic .....	16
Tab. 2.1 – Technické parametry krokového motoru .....	61
Tab. 2.2 – Technické parametry PLC Siemens S7-1200 .....	64
Tab. 2.3 – Technické parametry frekvenčního měniče .....	66
Tab. 2.4 – Technické parametry HMI displeje .....	68
Tab. 2.5 – IP adresy zařízení .....	74
Tab. 2.6 – Parametry měniče zahrnuté do komunikace .....	75
Tab. 2.7 – Zapojení vstupů PLC .....	77
Tab. 2.8 – Zapojení výstupů PLC .....	77

# ÚVOD

Jedním z úkolů automatizace je návrh a realizace řídicích systémů strojů. Mnoho podniků se snaží mít své stroje automatizované, z důvodu dosažení vyšší kvality produktů a snížení ekonomických nároků na výrobu.

Práce je zaměřena na tvorbu automatizovaného systému pro doposud manuálně ovládaný stroj brusky ledních bruslí. Cílem práce je zvýšení kvality broušení vyloučením lidského faktoru a také usnadnění obsluhy stroje. Motorickým pohonem se dosáhne rovnoměrného pohybu brusky a tím stálé kvality broušení. Před zahájením práce se nastaví parametry broušení a potom už probíhá broušení automaticky.

Jádrem řídicího systému byl navržen programovatelný automat Siemens S7-1200, který ovládá frekvenční měnič asynchronního motoru brusky, driver krokového motoru pro zajištění pohybu brusky po čepeli brusle a HMI displej. Pomocí tohoto dotykového displeje, joysticku a tlačítek je stroj ovládán jeho obsluhou.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY

Jedná se o programovatelný řídicí systém určený převážně pro potřeby průmyslového řízení technologických procesů nebo strojů. Nejčastěji se nachází v automatizačních úlohách. Programovatelné automaty jsou označovány zkratkou PLC (Programmable Logic Controller). V české literatuře lze narazit na zkratku PA (Programovatelný automat), ovšem není hojně používána. Na začátku svého vzniku byly programovatelné automaty navrženy pro logické řízení procesů, jako náhrada za neefektivní a nespolehlivé reléové nebo stykačové zapojení. V dnešní době již zahrnují funkce pro analogové měření, regulaci a monitorování řízených procesů. Mimo jiné, jsou využívány jako řídicí systémy inteligentních domácností.

Mezi jejich výhody nepochybně patří snadná změna chování řízeného systému, v závislosti na programátorovi. V minulosti PLC zahrnovaly jen logické řízení. Analogové veličiny byly zpracovávány speciálními regulátory. Dnes je PLC vybaveno A/D a D/A převodníky, tudíž lze pracovat s analogovými veličinami. S postupným vývojem umělé inteligence jsou automatizační prostředky schopné rozpoznávání obrazů, robotického vidění atd. (Koziolek, 2007).

PLC, na rozdíl od jiných řídicích systémů, jsou konstruované pro vysokou spolehlivost řízení a odolnost proti rušení. Jejich poruchovost bývá zanedbatelná v porovnání s běžnými periferními prvky. Například uvolněné spoje svorkovnice, přehřátí, zadření, ucpání akčních členů. Mnoho chyb a poruch je také způsobeno "lidským faktorem". S pokrokem automatizace se upřednostňuje bezobslužný provoz. Z tohoto důvodu PLC integruje technickou diagnostiku, která zjednodušeně řečeno nahrazuje lidské smysly, tzn. reaguje na zamrzání, zaplavení, únik plynů a kapalin, přehřátí motoru a dalších poruch. Rozpozná dané chybové stavy a vykoná úkony pro jejich potlačení. Technickou diagnostiku tedy nelze zanedbávat v oblasti automatizační techniky (Koziolek, 2007).

### 1.1.1 Druhy sestav PLC

Na trhu se vyskytuje velké množství sestav PLC lišících se nejen výrobcem, ale zejména rozsáhlostí, velikostí a uzpůsobením pro danou náročnost aplikace. Je tedy na volbě uživatele, jaké přednosti PLC zvolí, zda bude výhodné zvolit čistě binární systém obsahující pouze logické vstupy a výstupy, nebo systém analogový v podobě regulátoru nebo měřicího systému.

Vyskytují se sestavy, které jsou výhradně vstupní. Specializují se na měření a předzpracování dat. Může se jednat o situaci, kdy PLC měří na svých vstupech hodnoty veličin ze snímačů monitorované technologie a v závislosti na jejich hodnotách předává informace nadřazenému počítači.

Podobně může být PLC v konfiguraci výstupního systému, kde bude například přijímat data z regulátoru nebo jiného řídicího systému, vyhodnocovat je, a v závislosti na výsledku působit na akční členy v regulačním řetězci.

Lze se setkat i se systémy bez fyzických vstupů a výstupů. Takové systémy mohou plnit funkci jako komunikační adaptér pro připojení operátorských panelů nebo jako převodníky rozhraní mezi protokoly sběrnic (Šmejkal, 2002).

Mezi nejmenší a nejjednodušší systémy se řadí sestava s názvem Mikro PLC. Tyto sestavy mají omezený počet digitálních vstupů a výstupů. Obvykle nedisponují analogovými vstupy nebo nepodporují rozšířené komunikační rozhraní. Vykonávají program s omezenou výpočetní kapacitou. Pro svoji velikost a nízkou cenu jsou vhodné pro méně náročné automatizační úlohy, kde není nutné využívat softwarové technologické objekty nebo komunikační schopnosti. Pro tyto parametry se Mikro PLC používají jako náhrady za zastaralou reléovou logiku (Šmejkal, 2002). Mezi typické představitele Mikro PLC se řadí logický modul LOGO! od firmy Siemens, nebo Relé EASY 512 firmy Eaton. V tab. 1.1 se nachází výběr důležitých technických parametrů PLC modelu LOGO! 8 Basic.

Tab. 1.1 – Technické parametry modelu LOGO! 8 Basic

Parametr	Model			
	LOGO! 24CE	LOGO! 12/24RCE	LOGO! 24RCE	LOGO! 230RCE
Napájecí napětí	24 V DC	12 V ÷ 24 V DC	24 V AC/DC	230 V AC/DC
Počet digitálních vstupů	8	8	8	8
Počet analogových vstupů	4	4	0	0
Počet výstupů	4	4	4	4
Typ výstupů	Tranzistorové	Reléové	Reléové	Reléové
Maximální výstupní proud	0,3 A	10 A s činnou zátěží		
		3 A s induktivní zátěží		
Maximální spínací frekvence výstupů	10 Hz	2 Hz s činnou zátěží		
		0,5 Hz s induktivní zátěží		



Pro náročnější aplikace se používají kompaktní PLC. Skládají se z jediného modulu, ve kterém se již nachází všechny potřebné prvky, jako je centrální procesorová jednotka, paměti, napájecí zdroj, digitální vstupy a výstupy a komunikační rozhraní pro naprogramování PLC nebo připojení jednoduchého textového operátorského rozhraní HMI. Tato sestava PLC však nabízí omezené možnosti rozšiřování, obvykle pouze v počtu digitálních nebo analogových vstupů. Propojení přídavných periferních modulů k základnímu modulu je realizované integrovanou sběrnici. Výhoda kompaktních PLC spočívá ve snadné instalaci a nízkých pořizovacích nákladech oproti modulárním PLC. Využívají se zejména pro jednodušší automatizační úlohy. Zástupcem komponentních PLC je například Simatic S7-1200 od firmy Siemens na obr. 1.1 (Koziorek, 2007; PLC automatizace, nedatováno).



Obr. 1.1 – Siemens S7-1200 (Siemens, s.r.o., nedatováno)

Největšími PLC jsou modulární PLC. Sestávají ze základního modulu obsahujícího centrální procesorovou jednotku a paměť, ke kterému lze připojovat periferní moduly v závislosti na požadovaném přizpůsobení k automatizační úloze. Přídavné moduly plní funkci digitálních a analogových vstupů a výstupů, požadovaného typu komunikačního rozhraní (Ethernet, RS-232, RS-485), polohování, regulace, vizualizace, výkonových portů pro připojení pohonů a v neposlední řadě také napájení. Výhoda spočívá ve snadné modifikaci a flexibilitě PLC jako celkového řídicího systému. Modulární PLC se používají pro složité a rozsáhlé automatizační úlohy, kde je předpokladem vysoký počet vstupů a výstupů v řádu desítek až stovek. Zástupcem modulárních PLC je například Simatic S7-400 také od firmy Siemens na obr. 1.2 (Koziorek, 2007).



Obr. 1.2 – Siemens S7-400 (Siemens, s.r.o., 2020a)

### 1.1.2 Základní skladba PLC

Programovatelné automaty obsahují hardwarové jednotky v podobném rozdělení jako osobní počítače. V případě komponentní sestavy programovatelného automatu napájení obstarává napájecí zdroj umístěný na stejné desce plošných spojů jako je zbytek obvodů programovatelného automatu, nebo je oddělený na samostatné desce plošných spojů a propojen vodiči k základní desce. V drtivé většině programovatelných automatů je napájecí zdroj ve formě spínaného zdroje. Velikost napětí přiváděného do zdroje programovatelného automatu se liší v závislosti na konfiguraci PLC. Firma Siemens nabízí pro programovatelné automaty řady S7-1200 napájení stejnosměrným napětím 24 V nebo střídavým napětím 230 V podle verze základního modulu (Siemens, s.r.o., 2020b).

Provádění instrukcí podle programu má za úkol centrální procesorová jednotka. Stará se o veškeré výpočty, přesuny dat mezi vstupy a výstupy a také komunikaci s ostatními vnitřními bloky programovatelného automatu, rozšiřujícími moduly a případnými nadřazenými systémy. Tyto bloky jsou propojeny pomocí systému vodičů nazývaných sběrnice. Komunikace mezi centrální procesorovou jednotkou, paměťmi, čítači, časovači a dalšími periferiemi v rámci mikro počítače probíhá po adresové, datové a řídicí sběrnici. Adresová sběrnice přenáší adresu paměťové buňky v rámci paměti, do které požaduje centrální procesorová jednotka zapisovat

data nebo z ní data číst. Datová sběrnice zprostředkovává přenos dat. Například mezi centrální procesorovou jednotkou a pamětí programu po vystavení adresy na adresovou sběrnici. Řídící sběrnice přenáší řídicí signály pro zahájení, ukončení a řízení komunikace. Ovládá směr přenosu dat mezi komunikujícími bloky. To znamená, zda bude probíhat zápis nebo čtení. Také se však využívá pro synchronizaci (Mrafko, 2010).

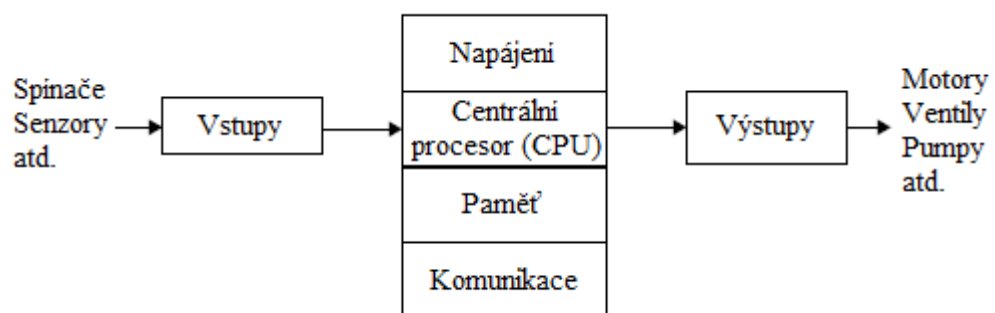
Programovatelné automaty využívají několik samostatných pamětí s odlišnou technologií. Uživatelský program a zpracovávaná data jsou uloženy v nevolatilní paměti RAM. Tento typ paměti je použit z důvodu nutnosti rychlé výměny dat mezi pamětí a aritmeticko-logickou jednotkou. Nevýhodou paměti typu RAM je, že při odpojení napájecího napětí ztrácí uchovaný obsah. Proto je paměť zálohovaná vestavěným akumulátorem uvnitř programovatelného automatu, aby nedocházelo ke ztrátě obsahu paměti. Programovatelné automaty nabízejí i jiný způsob zabránění ztráty uživatelského programu během odpojeného napájecího napětí, a to použitím volatilních pamětí typu FLASH nebo EEPROM, do kterých se uloží uživatelský program. Po spuštění programovatelného automatu se obsah FLASH paměti přesune do paměti RAM. Poslední paměť, která se vyskytuje u většiny programovatelných automatů je volatilní paměť typu ROM. Je zde uložen operační systém. Obstarává funkci celého programovatelného automatu, vykonávání uživatelského programu, komunikace s rozšiřujícími moduly a operátorskými HMI panely. Pokud nastane problém s nedostatkem paměti, je u některých programovatelných automatů možnost ji rozšířit přidáním speciální SD karty do slotu na základním modulu (Hanssen, 2015).

Všechny programovatelné automaty mají zabudovanou komunikační jednotku. Je vyžadována z důvodu schopnosti naprogramovat zařízení. Tato jednotka může obsahovat více komunikačních protokolů (Profinet, Profibus, Modbus) nejen k vytvoření spojení mezi programovací stanicí a programovatelným automatem, ale také k jeho připojení do datové sítě. Díky tomu lze programovat a monitorovat zařízení s využitím sítě a není vyžadované přímé kabelové spojení. V současnosti některé programovatelné automaty disponují i webovým serverem.

Pomocí vstupů získává programovatelný automat informace o průběhu automatizační úlohy. Programovatelné automaty jsou vybaveny digitálními vstupy a většinou i několika analogovými vstupy. Digitální vstupy rozlišují pouze úrovně log. 0 nebo log. 1 v závislosti na vstupním napětí. Velikost maximálního napětí přivedeného na digitální vstupy je shodné s velikostí napájecího napětí programovatelného automatu nebo napětí na svorkách z výstupu vnitřního zdroje. Analogové vstupy převádí spojitě analogové napětí na číselnou hodnotu pomocí A/D převodníku. Rozsah přípustného napětí na těchto vstupech je pro většinu

programovatelných automatů v rozsahu 0 V až 10 V s rozlišením A/D převodníku 10 bitů. Pro ochranu vnitřní elektroniky programovatelných automatů se vstupy i výstupy galvanicky oddělují fotoelektrickými prvky. Elektronická součástka, která tuto funkci zajišťuje, se nazývá optočlen. Tímto se zvyšuje odolnost proti rušení a umožňuje to použití různých napěťových hladin. V případě poruchy (zkratu) na vstupu nebo výstupu dojde pouze ke zničení této části, nikoli celého programovatelného automatu. (Hanssen, 2015).

Digitální výstupy se v programovatelných automatech vyskytují jako reléové, tranzistorové nebo s triaky. Reléové výstupy zvládají spínání střídavě i stejnosměrně napájených zátěží s vysokým proudovým odběrem, řádově v jednotkách ampérů. Výhoda je také v galvanickém oddělení řízeného obvodu. Nicméně relé je elektromechanický prvek a z toho plyne řada nevýhod. Například při spínání relé dochází k opalování kontaktů, zákmitům, jejich životnost se zkracuje při častém spínání. Reléovými výstupy nelze ovládat zařízení, kde je vyžadována vysoká rychlost spínání kontaktů. Tranzistorové výstupy mají dlouhou životnost a nevdí jim časté spínání. Jsou však náchylné na přepětí, změnu polarity a přetížení. Mohou spínat pouze stejnosměrně napájené zařízení s proudovým odběrem řádově desetin ampérů. Jejich výhoda je v rychlé frekvenci spínání, řádově až stovek kilohertzů. Výstupy s triaky nejsou příliš běžné. Používají se tam, kde se vyžaduje časté spínání zařízení napájených střídavým napětím. Tyto výstupy jsou citlivé na nadproudové přetížení a jsou chráněny vnitřní elektronikou programovatelného automatu. Na obr. 1.3 je blokové schéma PLC (Hanssen, 2015).

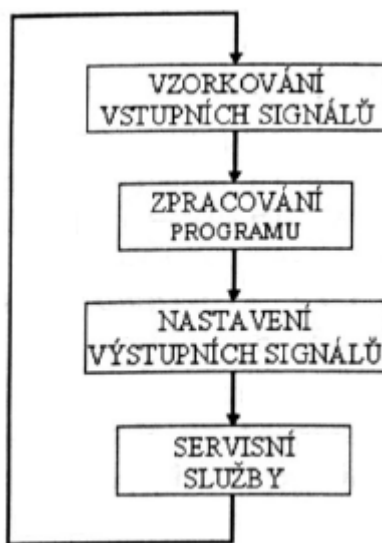


Obr. 1.3 – Blokové schéma PLC (Hanssen, 2015)

### 1.1.3 Zpracování programu PLC

Vykonávání programu probíhá v periodicky se opakujících uzavřených cyklech. Tyto opakující se cykly se nazývají scany. Tok informací v řízeném procesu s programovatelným automatem je následující. Na počátku pracovního cyklu se do paměti obrazu vstupů uloží

vstupní stavy. Vstupní stavy mohou být logické úrovně ze spínačů, koncových spínačů, tlačítek nebo v případě snímání vstupních analogových veličin jsou vstupními stavy číselné hodnoty. Po této fázi následuje postupné zpracování programového kódu instrukce po instrukci ve sledu, jak je definoval programátor a na základě stavu vstupních, vnitřních a výstupních proměnných se do paměti obrazu výstupů uloží nové hodnoty výstupních stavů. Na konci této fáze dojde naráz k změnám hodnot na výstupech programovatelného automatu, ke kterým jsou připojeny akční členy řízeného procesu. V poslední fázi pracovního cyklu se provede obsluha komunikace například s nadřazeným systémem umístěným v datové síti nebo komunikace s HMI panelem a pokračuje se obslužením časové základny a vynulováním registru doby posledního skenu tzv. watchdog. Tímto je programovatelný automat připraven na další scan. Je nutné dodat, že vzorkování probíhá pouze před vykonáním programového kódu, a tudíž nedochází ke změnám vstupních proměnných za běhu programu, podobně jako nelze měnit přímo výstupní proměnné během vykonávání programu. Tato vlastnost má důležitý význam, aby nedocházelo k nedovoleným mezistavům, vedoucím eventuelně k hazardním stavům. Programovatelný automat tedy udržuje vstupní a výstupní stavy během jednoho cyklu bez ohledu na skutečné aktuální stavy. Cyklické zpracování programu je na obr. 1.4 (Beneš, 2005).



Obr. 1.4 – Cyklus činnosti PLC (Beneš, 2005)

Sériové vykonávání programu zahrnuje několik dopadů na způsob řízení automatizační úlohy. Pokud se během provozu programovatelného automatu vyskytne na jeho vstupech impulz, jehož délka trvání je kratší, než je čas vykonání jednoho cyklu, tak tento impulz nebude vůbec registrován. Doba vykonání jednoho cyklu je závislá na počtu instrukcí programu a velikosti taktovací frekvence procesoru. Pokud by na vstupech programovatelného automatu bylo připojené inkrementální čidlo polohy, tak při jeho vysokých otáčkách by mohlo dojít

ke zkrácení snímané rychlosti. Tento problém napravuje čítač rychlých impulzů označovaný termínem High Speed Counter v podobě vstupní karty. Ve většině dnešních programovatelných automatů je již integrovaný, nicméně pro jeho použití je nutné ho povolit v hardwarovém nastavení vývojového prostředí (Beneš, 2005).

Dalším dopadem sériového vykonávání programu je skutečnost, že do paměti výstupního obrazu je daná proměnná zapsána při posledním přístupu k této proměnné v programu. Předěšlé manipulace s touto proměnnou se nijak neuplatní. Z tohoto důvodu se například k proměnné, která má za úkol zastavení stroje, přistupuje na konci programu (Beneš, 2005).

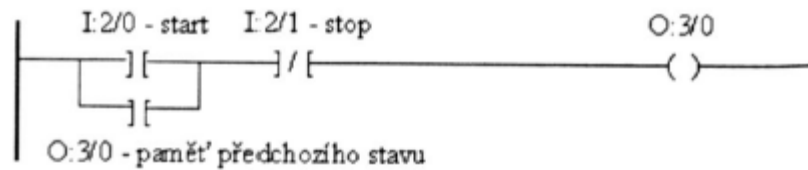
#### **1.1.4 Programovací jazyky PLC**

Programování programovatelných automatů lze provádět mnoha různými formami programovacích jazyků. Každý jazyk je vhodný pro jiný druh automatizační úlohy.

Na počátku éry programovatelných automatů se programovalo jazykem kontaktních schémat. S postupným vývojem hardwarových a softwarových technologií začaly vznikat nové programovací jazyky a stávající jazyky byly doplňovány o nové struktury. Toto počínání přineslo uživatelům řadu výhod, ale také komplikací při programování programovatelných automatů napříč různými výrobci. Z tohoto důvodu došlo k zavedení mezinárodní normy IEC 61131-3, která přesně definuje sémantiku a syntaxi pro několik základních programovacích jazyků v průmyslové automatizaci. Tato norma se stala závaznou pro většinu významných výrobců programovatelných automatů. Nyní díky této normě lze programovat programovatelné automaty od různých výrobců a typů s jednotnými principy a návyky. Ovšem konkrétní programy nejsou přenositelné mezi různé programovatelné automaty. Základní programovací jazyky se dělí na textové a grafické. Mezi grafické jazyky patří jazyk LD, FBD a mezi textové jazyky IL a ST (Beneš, 2005).

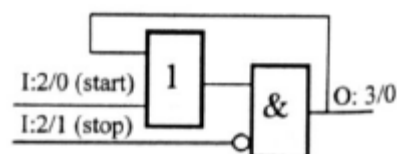
Jazyk příčkových diagramů (angl. LD – Ladder Diagram) vychází z podobnosti obvodových schémat zapojení relé nebo stykačů. Vstupní bitové proměnné mají formu spínacích nebo rozpínacích kontaktů a značí se dvěma svislými čarami, v případě rozpínacího kontaktu je mezi tyto čáry umístěna navíc šikmá čára. Výstupní bitové proměnné tvoří znázornění cívek relé. Označují se pomocí dvou kulatých závorek. Kontakty a cívky se umísťují mezi dvě svislé sběrnice, napájecí a uzemňovací. Princip je takový, že nalevo připojené kontakty k napájecí sběrnici přiřazují logické úrovně cívkám připojeným k uzemňovací sběrnici. Funkční bloky (čítače, časovače, technologické bloky) se znázorňují obdélníkovými

značkami uvnitř se symbolem charakterizující jeho funkci. Na obr. 1.5 je příklad programu dvoutlačítkového ovládání spotřebiče v jazyce LD. Tento programovací jazyk je vhodný pro uživatele, kteří nemají znalost klasického textového programování, naopak mají zkušenosti s vytvářením zapojení v silnoproudé elektrotechnice. Využití jazyka příčkových diagramů je u jednodušších automatizačních úloh, kde se často pracuje s bitovými proměnnými. V případě opakovaného využívání rozsáhlých instrukcí, například aritmetických operací, tento jazyk ztrácí své výhody a přehlednost (Beneš, 2005).



Obr. 1.5 – Ukázka programu v jazyce LD (Beneš, 2005)

Jazyk funkčních blokových schémat (angl. FBD – Function Block Diagram) využívá propojování hradel a bloků číslicové techniky. Všechny operace v programu se vytváří vkládáním značek obdélníku, bloků s danou funkcí. Na levé části bloku se nachází vstupy. Jejich počet a způsob reakce na vstupní signál lze modifikovat. Na pravé části bloku se nachází výstupy. Funkční bloky se propojují čarou charakterizující vodivé propojení, po kterém se šíří signály. Na obr. 1.6 je příklad programu dvoutlačítkového ovládání spotřebiče v jazyce FBD. Je vhodný pro uživatele, kteří jsou zvyklí pracovat s integrovanými obvody číslicové techniky. V tomto programovacím jazyce se velmi dobře sledují „toky“ signálů od vstupu k výstupu při odladování programu. Podobně jako v případě jazyka příčkových diagramů je tento jazyk nevhodný pro složitější programy z důvodu ztráty přehlednosti (Beneš, 2005).



Obr. 1.6 – Ukázka programu v jazyce FBD (Beneš, 2005)

Jazyk seznamu instrukcí (angl. IL – Instruction List) je textový programovací jazyk tvořen posloupností jednotlivých instrukcí. Jeho uspořádání je podobné assembleru mikrokontrolerů. Struktura jazyka se skládá z instrukce (např. LD, OR, AND) a operandu, který představuje paměťové místo datové paměti. Ve většině programovatelných automatů se pracuje pouze s jedno-operandovými instrukcemi, protože paměť dat je v podobě zásobníkové paměti

a přistupuje se vždy jenom k jejímu vrcholu. Na obr. 1.7 je příklad programu dvoutlačítkového ovládání spotřebiče v jazyce IL. Jazyk seznamu instrukcí je ze všech jazyků nejbližší strojovému kódu. Používá se v aplikacích, kde se vyžaduje přesné nebo rychlé vykonání programu. Poskytuje programátorovi naprostou kontrolu nad kompozicí programu. Díky tomu je program paměťově optimalizován bez zbytečných přesunů dat. Opět není vhodné tímto programovacím jazykem vytvářet složité automatizační úlohy. Jeho výhoda, jak již bylo řečeno, spočívá v paměťové optimalizaci a rychlosti zpracování programu (Beneš, 2005).

```
LD X0.0;      načtení hodnoty vstupu tlačítka „Start“ (svorka X0.0)
OR Y0.0;      „přidržený kontakt stykače“ spotřebiče ve stavu „zap“
ANC X0.1;     načtení a negování hodnoty vstupu tlačítka „Stop“ (svorka X0.1)
WR Y0.0;     aktivace spotřebiče (sepnutí stykače)
```

Obr. 1.7 – Ukázka programu v jazyce IL (Beneš, 2005)

Jazyk strukturovaného textu (angl. ST – Structured Text) je vyšší programovací jazyk s určitou analogií programovacího jazyka Pascal. Jazyk je vhodný pro programování složitějších automatizačních úloh, kde se provádí aritmetické výpočty, práce s textovými řetězci, databázemi, komunikací atd. Následující text je ukázkový program dvoutlačítkového ovládání v jazyce ST (Beneš, 2005).

```
PROGRAM AUTOMAT
USES CRT;
VAR
    K : CHAR;
BEGIN
    CLRSCR;
    WRITELN ('DVOUTL. OVLADANI SPOTREBICE:S=START,Q=STOP,
X=KONEC PROGRAMU');
    REPEAT
        K := READKEY;
        REPEAT
            IF UPCASE (K) = 'S' THEN
                BEGIN
                    SOUND (300) ; DELAY (200) ; NOSOUND
                END
            ELSE IF UPCASE (K) = 'Q' THEN NOSOUND;
            IF UPCASE (K) = 'X' THEN BREAK;
        UNTIL KEYPRESSED
    UNTIL UPCASE (K) = 'X'
        NOSOUND;
END
```



## 1.2 KROKOVÝ MOTOR

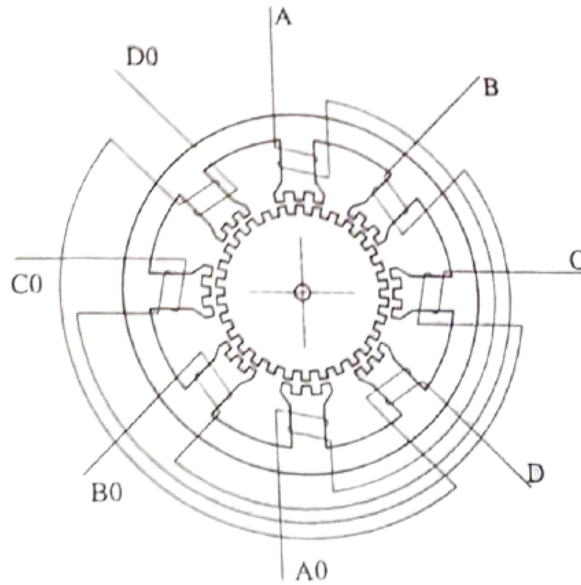
Krokový motor je elektromagnetický synchronní točivý stroj s nespojitým pohybem hřídele. Hřídel motoru se otáčí po malých úsecích nazývaných kroky motoru. Jeden napájecí impuls pootočí hřídel motoru o jeden krok. Hřídel lze otáčet i po zlomku kroku. Tento způsob řízení se nazývá mikro-krokování. Krokové motory se využívají zejména pro řízení, kde se vyžadují přesné polohové pohyby. Jejich přínosem je možnost přesného polohového řízení, bez nutnosti zpětnovazebního snímače. Mají vysokou životnost díky absenci kluzných kontaktů. Rotor motoru není žádným způsobem napájený. Vinutí motoru se nachází v jeho statoru. Točivé magnetické pole je generováno pomocí elektronického ovladače běžně nazývaného driver (Uhlíř, 2007).

### 1.2.1 Konstrukční uspořádání

Každý motor se skládá ze stacionární části nazývané stator a z pohyblivé části nazývané rotor. Stejně tomu tak je i u krokových motorů, kde stator tvoří vinutí, uvnitř něho je rotor složený ze zubů feromagnetického materiálu nebo pólů permanentních magnetů. Podle způsobu těchto konstrukcí rotorů se rozlišují druhy krokových motorů na motory s proměnnou reluktancí a motory s aktivním rotorem. V praxi se nejčastěji aplikují hybridní krokové motory s kombinací těchto dvou druhů rotorů (Uhlíř, 2007).

#### **Krokový motor s proměnnou reluktancí**

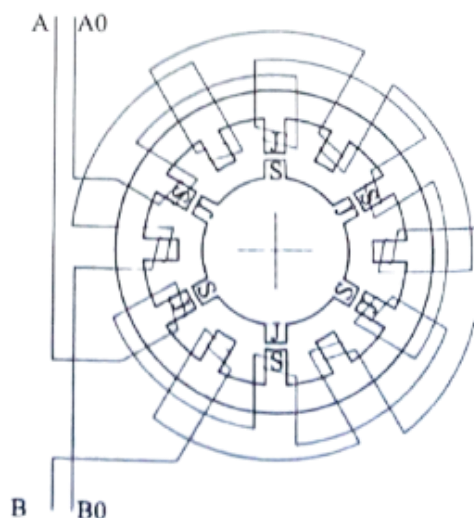
Rotor motoru s proměnnou reluktancí je složený ze vzájemně izolovaných plechů. Stator od rotoru je oddělený vzduchovou mezerou, která by měla být co nejmenší pro dosažení nejvyšší účinnosti motoru. Nákres motoru je na obr. 1.8. Vinutí tohoto motoru je složeno ze čtyř fází A až D. Rotor má po svém obvodu několik desítek zubů. Zuby jedné fáze vinutí pólového nástavce statoru jsou vzájemně proti zubům rotoru. Zuby sousedních fází jsou se zuby rotoru posunuty o jednu čtvrtinu zubové rozteče. Po vykonání kroku jsou proti sobě zuby následující fáze a naopak zuby předchozí fáze jsou posunuty. Čím větší počet zubů bude mít krokový motor, tím bude větší počet kroků na jednu otáčku a pohyb hřídele bude plynulejší. Motor funguje na principu změny reluktance „uzavírání“ magnetického obvodu rotoru a statoru při napájení vinutí fáze. Pokud tedy napájíme vinutí A, cívka vybudí magnetické pole a dojde k natočení rotoru do polohy, kde je indukčnost napájené cívky největší (má nejmenší magnetický odpor). Tato poloha odpovídá, právě když jsou zuby naproti sobě. Vhodným přepínáním napájení jednotlivých fází se docílí otáčení hřídele v jednom směru.



Obr. 1.8 – Konstrukční uspořádání motoru s proměnnou reluktancí (Uhlíř, 2007)

### Krokový motor s aktivním rotorem

Krokové motory s aktivním rotorem mají rotor složený z permanentních magnetů. Jejich uspořádání je takové, aby po obvodu rotoru byly střídavě rozmístěny severní a jižní póly. Počet pólových nastavců statoru je násobkem počtu uvažovaných fázových vinutí statorových cívek. Nákres motoru s aktivním rotorem je na obr. 1.9. Princip funkce je zřejmý. Permanentní magnety vytvářejí trvalé magnetické pole. Po spuštění napájení některé z fází motoru, cívky vybudí také magnetické pole s polaritou danou směrem proudu procházejícího cívkami. Toto

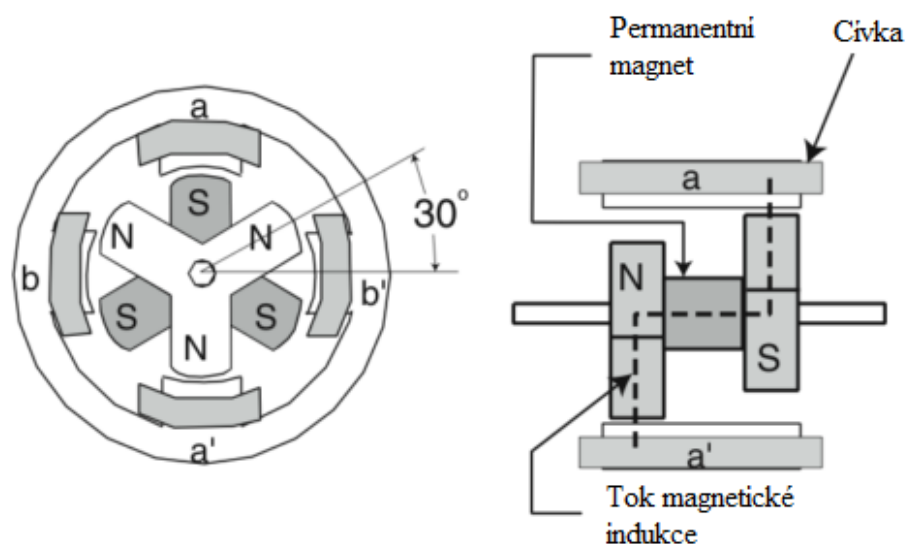


Obr. 1.9 – Konstrukční uspořádání motoru s aktivním rotorem (Uhlíř, 2007)

vytvořené magnetické pole a magnetické pole permanentního magnetu na sebe budou vzájemně působit a vyvolaná síla otočí rotorem do polohy, kde budou naproti sobě severní a jižní pól obou magnetických polí. Motory s aktivním rotorem dosahují většího točivého momentu, než motory s proměnnou reluktancí, a navíc vytváří klidový moment bez napájení motoru. Tento typ krokového motoru má běžně větší velikost kroku (Uhlíř, 2007).

### Hybridní krokový motor

Hybridní krokový motor je kombinací motoru s proměnnou reluktancí a motoru s aktivním rotorem. Na hřídel je nasazen tenký válcový permanentní magnet, často neodymový. Na hřídel jsou k magnetu z obou jeho stran nalisovány pólové nástavce složené ze vzájemně izolovaných plechů. Zuby pólových nástavců na sebe v podélné ose nenavazují, ale jsou pootočené o polovinu zubové rozteče. Stator motoru je také složen z izolovaných plechů a je magneticky vodivý. Na pólových nástavcích je umístěno fázové vinutí. Na obr. 1.10 si lze všimnout, že se opravdu jedná o kombinaci předešlých dvou typů motorů. Pokud je například napájena fáze vinutí  $a-a'$ , magnetické pole cívky  $a$  přitahuje severní pól zubů pólového nástavce, podobně magnetické pole cívky  $a'$  přitahuje druhý pólový nástavec, a tak se uzavírá magnetický obvod přes magnet, oba pólové nástavce, vzduchovou mezeru a stator. Zuby rotoru a statoru fáze vinutí  $a-a'$  se budou nacházet přesně naproti sobě, zatímco zuby ostatních fází budou pootočené. Princip je shodný s předešlými konstrukcemi motorů.



Obr. 1.10 – Konstruktivní uspořádání hybridního motoru (Uhlíř, 2007)

### 1.2.2 Statický moment síly motoru

Statický moment síly se uplatňuje při zastaveném motoru s vybuzenými fázovými vinutími. Hřídel motoru je tedy zabrzděná. Pokud se připojí některá z fází krokového motoru k napětí, cívka vybudí magnetické pole a rotor se natočí do polohy, kde je indukčnost cívky maximální. V místě, kde je maximální indukčnost cívky je magneticky klidová poloha a na rotor nepůsobí žádný moment síly. Ve chvíli, kdy na rotor bude působit vnější moment síly, rotor se bude vychylovat z klidové polohy a zároveň magnetické pole cívky bude působit proti vnějšímu momentu statickým momentem. U motorů s aktivním rotorem je velikost statického momentu přibližně sinusová. V místě magneticky klidové polohy rotoru je maximální statický moment a klesá v závislosti na výchylce rotoru vůči klidové poloze. Pro ideální motor může být přibližně vyjádřen podle vztahu

$$M_s = M_{sv} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{S} \cdot \theta\right), \quad (1.1)$$

kde  $M_s$  – statický moment, N·m,

$M_{sv}$  – statický vazební moment, N·m,

$S$  – úhlový krok, rad,

$\theta$  – natočení hřídele, rad.

Statický vazební moment má velikost momentu působícího na hřídel při nabuzeném stojícím motoru, aniž by došlo k roztržení magnetické vazby (Uhlíř, 2007).

### 1.2.3 Dynamický moment síly motoru

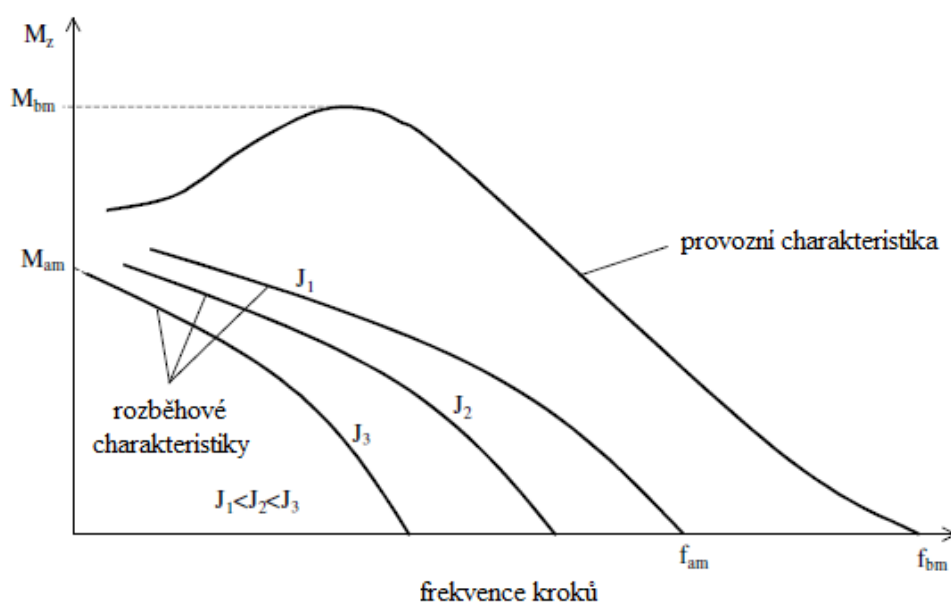
Reakce rotoru na změnu magnetického pole vinutí statoru nenastává okamžitě, ale s určitým přechodovým jevem, protože rotor motoru je hmotný a vykazuje moment setrvačnosti. Uplatňuje se také tlumení a další mechanické fyzikální principy. Krokový motor lze matematicky popsat pomocí nelineární rovnice druhého řádu. Při skokové změně magnetického pole vinutí přechází rotor do rovnovážné polohy s tlumenými zákmity. Velikost amplitudy zákmity a doba přechodového děje se odvíjí od velikosti kroku, setrvačnosti rotoru, velikosti vazebního momentu a počtu buzených fází motoru. Například dvoufázové napájení značně potlačuje překmity rovnovážné polohy a dobu přechodového děje v porovnání s jednofázovým napájením motoru. Dvě napájené fáze vytváří uzavřený paralelní obvod. Oscilace rotoru indukují v těchto dvou vinutích proudy, které magneticky působí proti změně,

kteřá je vyvolala, a tím aktivně ustalují záškmitý rotor. U jednofázového napájení nedochází k potlačování záškmitů rotoru a je tedy tlumen pouze mechanickým třením (Uhlíř, 2007).

Momentová charakteristika krokového motoru popisuje závislost zatěžovacího momentu na frekvenci kroků motoru. Je znázorněna na obr. 1. 11 a skládá se z několika křivek rozběhové charakteristiky a provozní charakteristiky. Jedná se však o ideální průběhy. Pro skutečný krokový motor jsou charakteristiky deformované. Tento neblahý jev je způsoben vlivem rezonance a nestability, které se objevují při některých frekvencích.

Rozběhová charakteristika vyjadřuje přípustné zatěžovací momenty rotoru při skokovém rozběhu motoru z nuly na danou frekvenci kroků, při které ještě nedojde k tzv. ztrátě kroků. Z grafu je patrné, že při zvyšujícím se momentu setrvačnosti pohonu  $J$  se snižuje mezní rozběhová frekvence kroků  $f_{am}$  společně s mezním rozběhovým momentem  $M_{am}$  (Hrabovcová, 2001).

Provozní charakteristika vyjadřuje zatěžovací momenty rotoru při dané frekvenci kroků, kdy nedojde ke ztrátě kroků, za předpokladu, že nedochází ke změnám směru otáčení a změnám frekvence kroků do určité hodnoty. Je zřejmé, že s narůstající frekvencí kroků klesá mezní provozní moment  $M_{bm}$ . Způsobuje to indukční reaktance vinutí jednotlivých fází motoru. S narůstající frekvencí kroků narůstá i indukční reaktance vinutí a klesá proud procházející vinutím společně se silou magnetického pole, která při dané úrovni již není schopná udržet synchronnost s otáčkami rotoru a dojde k ztrátě kroků (Hrabovcová, 2001).



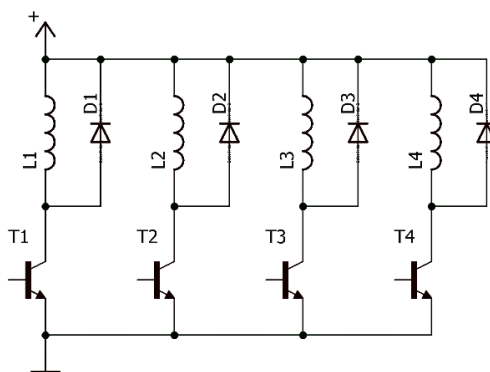
Obr. 1.11 – Momentová charakteristika krokového motoru (Hrabovcová, 2001)

## 1.3 DRIVER KROKOVÉHO MOTORU

Driver je zařízení, které generuje posloupnost pulzů do krokového motoru na základě vstupní informace o směru otáčení a počtu kroků z nadřazeného systému. Využívají se různé metody pro ovládání driveru z nadřazeného systému. Nejpoužívanější metodou ovládání driveru dvěma signály je pomocí vstupů driveru STEP a DIR. Náběžná hrana signálu na vstupu STEP způsobí otočení hřídele o jeden krok. Logické úrovně na vstupu DIR udávají směr, jakým se má otáčet hřídel motoru po příchodu náběžné hrany na vstup STEP. Jiný způsob ovládání driveru je analogový pomocí velikosti napětí. Například pro napětí 2,5 V je motor zastaven. Po zvýšení nebo snížení napětí na vstupu se hřídel otáčí vpravo nebo vlevo rychlostí závislou na rozdílu napětí mezi vstupem driveru a hodnotou 2,5 V. Tato metoda je vhodná pouze pro řízení otáček, protože nadřazený systém nemá žádnou informaci o poloze hřídele. Ovládání driveru je také náchylné na rušení. Další sofistikovanější a složitější způsob ovládání driveru je pomocí průmyslových sběrnic.

### 1.3.1 Driver motoru s proměnnou reluktancí

Pro řízení tohoto typu motoru není vyžadována změna polarit napájecího napětí. Driver řídí motor prostým spínáním cívek k napájecímu napětí v požadovaném pořadí pro daný směr otáčení. Na obr. 1.12 je schéma zapojení koncového stupně driveru pro čtyřfázový motor. Každý vývod cívky fáze motoru je připojen na tranzistor. Opačné vývody cívek jsou společně připojené k napájecímu napětí. Tranzistory jsou ovládány pomocí proudů do bází z řídicí logiky například mikrokontroleru. Tranzistory by měly mít co nejnížší úbytek napětí v propustném směru, protože čím bude tento úbytek menší, tím bude menší výkonová ztráta tranzistorů a ty se budou méně zahřívat. K cívkám se často zapojují ochranné diody, které odstraňují napěťové špičky při změnách proudu. Bez nich by mohlo dojít k průrazu tranzistorů (Uhlíř, 2007).



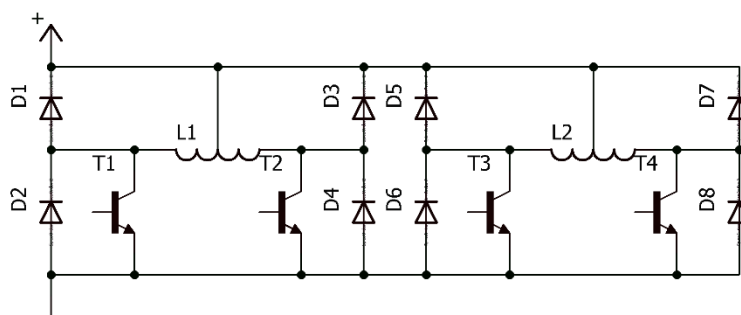
Obr. 1.12 – Koncový stupeň driveru motoru s proměnnou reluktancí

### 1.3.2 Driver motoru s aktivním rotorem

Motory s aktivním rotorem a hybridní motory ve svém rotoru obsahují permanentní magnet, tudíž je nutné měnit polaritu magnetického pole jednotlivých fází.

#### Unipolární ovládání

Cívky navinuté na pólových nástavcích statoru mají z jejich středů vyvedené odbočky, které jsou připojené ke kladnému pólu napájecího napětí. Konce cívek jsou připojeny ke spínacím tranzistorům. Tranzistory tak spínají pouze jednu polaritu napájecího napětí, ale směr procházejícího proudu v cívce je daný dle toho, který konec vinutí je sepnutý. Ochranné diody jsou připojeny ke kladnému i zápornému pólu napájení, protože se na vývodech cívek indukují napětí obou polarit. Na obr. 1. 13 je zapojení dvoufázového motoru.



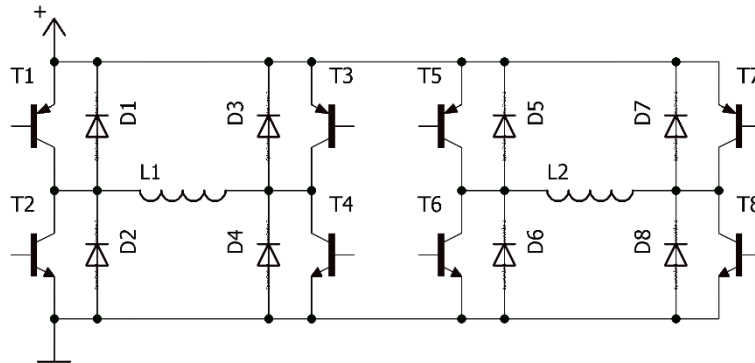
Obr. 1.13 – Koncový stupeň driveru pro unipolární ovládání motoru

#### Bipolární ovládání

Toto ovládání nevyužívá rozdělení cívek na dvě poloviny pro změnu polarity magnetického pole. Změna polarity se provádí přímo změnou smyslu napájení cívek pomocí H-můstku. Nevýhodou bipolárního ovládání je větší počet spínacích tranzistorů a složitější ovládání, ale naopak tímto způsobem řízení se dosahuje většího momentu síly motoru v porovnání s unipolárním ovládáním. Na obr. 1. 14 je schéma zapojení bipolárního ovládání dvoufázového motoru s dvěma H-můstky. Pokud se současně sepnou tranzistory T1 a T4, prochází proud cívkou jedním směrem. Po sepnutí tranzistorů T2 a T3 prochází proud cívkou opačným směrem. V obvodu nesmí docházet ke stavům, kdy se byť jen na krátkou chvíli současně sepnou tranzistory T1 a T2 nebo T3 a T4. V takovém případě dojde ke zkratu

napájecího zdroje a případné destrukci tranzistorů. Diody v obvodu opět plní funkci ochrany spínacích tranzistorů (Uhlíř, 2007).

### 1.3.3 Způsoby buzení motoru



Obr. 1.14 – Koncový stupeň driveru pro bipolární ovládní motoru

Způsoby buzení se rozdělují podle počtu fází vinutí motoru na jednofázové, dvojfázové a vícefázové. Pro vícefázové buzení vzniká několik možností zapojení fází vinutí. Lze zapojit fáze do hvězdy, trojúhelníku (n-úhelníku) nebo budit každou fází bipolárně. V této kapitole se uvažuje buzení pro nejčastěji používané hybridní motory (Hrabovcová, 2001).

#### Jednofázové buzení

Při jednofázovém buzení vinutí je vždy napájena pouze jedna fáze motoru. Rotor motoru se bude pohybovat po jednotlivých celých krocích, jak ukazuje obr. 1.15. Tento způsob buzení přináší nižší moment síly v porovnání s dvoufázovým buzením, protože v jeden okamžik je napájena jedna fáze (Hrabovcová, 2001).

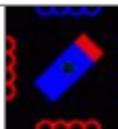
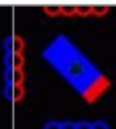
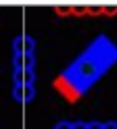
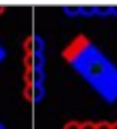
<i>Cívka 1</i>	-	0	+	0
<i>Cívka 2</i>	0	-	0	+
<i>Cívka 3</i>	+	0	-	0
<i>Cívka 4</i>	0	+	0	-

Obr. 1.15 – Bipolární jednofázové buzení s plným krokem (Elektronická učebnice, 2014)



## Dvoufázové buzení

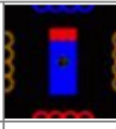
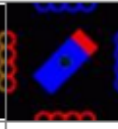

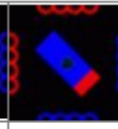
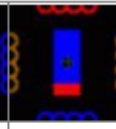
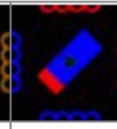
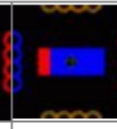
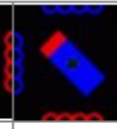
Při dvoufázovém buzení motoru jsou v jeden okamžik napájeny vždy dvě fáze. To je patrné na obr. 1.16. Rotor motoru se pohybuje po celých krocích, stejně jako tomu je u jednofázového řízení. Rozdíl ovšem je v rovnovážné poloze kroku. U dvojfázového buzení je rovnovážná poloha posunuta o polovinu kroku v porovnání s jednofázovým buzením. Výhodnou vlastností dvoufázového buzení je tlumení oscilací rotoru při přechodu z jedné rovnovážné polohy do druhé, jak je uvedeno v pododdílu 1.2.3 (Hrabovcová, 2001).

				
<i>Cívka 1</i>	-	+	+	-
<i>Cívka 2</i>	-	-	+	+
<i>Cívka 3</i>	+	-	-	+
<i>Cívka 4</i>	+	+	-	-

Obr. 1.16 – Bipolární dvoufázové buzení s plným krokem (Elektronická učebnice, 2014)

## Buzení s polovičním krokem

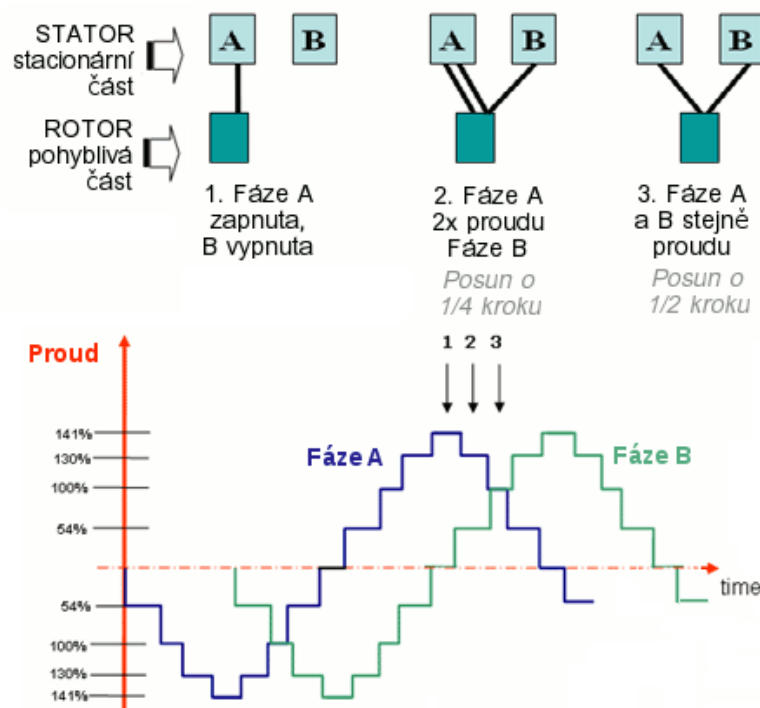
Jedná se o kombinaci jednofázového a dvoufázového buzení. Využívá se zde předpokladu, že rozdíl rovnovážných poloh mezi jednofázovým a dvoufázovým buzením je o polovinu kroku rotoru. Pro otáčení rotoru se střídavě budí jedna a dvě fáze motoru, jak je patrné na obr. 1.17. Tímto způsobem buzení se dosahuje dvojnásobné přesnosti krokování v porovnání s buzením plným krokem daným konstrukčním uspořádáním motoru. Nedostatkem je zvlnění momentu motoru (Hrabovcová, 2001).

								
<i>Cívka 1</i>	-	-	0	+	+	+	0	-
<i>Cívka 2</i>	0	-	-	-	0	+	+	+
<i>Cívka 3</i>	+	+	0	-	-	-	0	+
<i>Cívka 4</i>	0	+	+	+	0	-	-	-

Obr. 1.17 – Bipolární buzení s polovičním krokem (Elektronická učebnice, 2014)

### 1.3.4 Mikrokrokové ovládání motoru

Ovládání motoru pomocí mikrokrokování dovoluje jeden celý krok rozdělit na několik kratších stejně dlouhých úseků. Tím je docíleno zvýšení počtu kroků na jednu otáčku rotoru a hladšího pohybu. Výhodou je také výrazné snížení rezonance a hluku motoru ve spojení s pohonem. Mikrokrokování se nejčastěji aplikuje pro hybridní motory, ostatní typy krokových motorů pro to nejsou příliš vhodné. V praxi se využívají drivery, které zvyšují počet kroků na jednu otáčku násobkem 2 až 256. V ideálním případě, pokud by se dvoufázový motor napájel dvěma zdroji sinusového signálu posunutými vůči sobě o  $90^\circ$ , by bylo otáčení rotoru rovnoměrné a plynulé. Ve skutečnosti je obtížné vytvořit přesně sinusový signál. Z tohoto důvodu jsou proudy jednotlivých fází řízené po skocích ve tvaru sinusovky. Rovnovážná poloha daného mikro-kroku mezi celými kroky se řídí vhodnými velikostmi proudů do jednotlivých fází vinutím motoru, jak je ukázáno v horní části obr. 1.18. Pro ovládání motoru s dvojnásobnou přesností se používá driver s vnitřním dvouhladinovým napájecím zdrojem. S požadavkem na ovládání motoru více mikrokroky rostou nároky na spínací obvody. Úrovně proudů v jednotlivých fázích vinutí motoru se ovládají pomocí pulzně-šířkové modulace PWM. Dolní část obr. 1.18 zobrazuje průběhy proudů fází dvoufázového bipolárně ovládaného motoru se čtyřmi mikro-kroky (Hrabovcová, 2001).

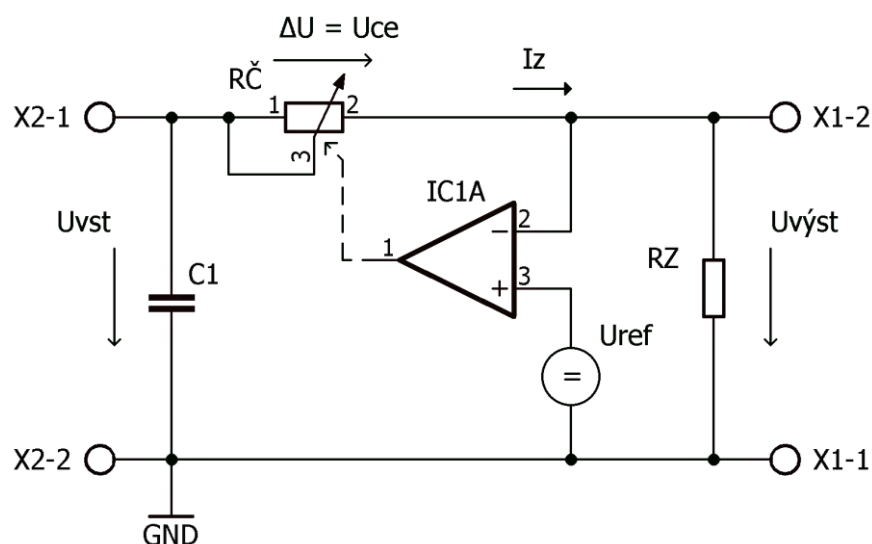


Obr. 1.18 – Průběhy proudů fází při mikrokrokování (Servo-drive s.r.o., nedatováno)

## 1.4 SPÍNANÝ ZDROJ

Spínaný zdroj je zařízení, které slouží jako zdroj stejnosměrného napájení. Přeměňuje střídavé síťové napětí na stejnosměrné napětí o nižší úrovni. Tento typ zdrojů se začal rozvíjet s příchodem výkonových spínacích polovodičových součástek. Do té doby se využívaly zdroje se spojitou regulací. Spínané zdroje pracují na principu impulsního zatěžování výkonového členu. Z toho plynou výhody a nevýhody použití spínaných zdrojů.

Lineární spojitě regulované zdroje obsahují síťový transformátor, který plní dvě funkce. Transformuje vstupní síťové napětí na vhodnou velikost pro výkonový regulační člen a zároveň galvanicky odděluje elektroniku zdroje a k němu připojenou zátěž od rozvodné sítě. Výstupní napětí z transformátoru se usměrní nejčastěji pomocí Graetzova můstku složeného z diod. Frekvence napětí se tedy zdvojnásobí. Pulzní usměrněné napětí se přivádí do obvodu vstupního filtru typu dolní propust. Obsahuje většinou pouze jeden kondenzátor hodnoty kapacity řádově jednotek  $mF$  zapojený mezi nulový potenciál a usměrněné napětí. Výsledkem je vyhlazené stejnosměrné napětí s minimálním zvlněním. Toto napětí vstupuje do sériového regulačního členu stabilizátoru napětí. Nejčastěji se jedná o bipolární tranzistor s funkcí akčního členu zapojeného ve zpětnovazební smyčce. V závislosti na velikosti výstupního napětí zdroje logika stabilizátoru mění odpor tranzistoru mezi kolektorem a emitorem tak, aby výstupní napětí zdroje zůstávalo konstantní. Pokud je výstupní napětí zdroje příliš zvlněné přidává se na jeho výstup další vyhlazovací filtr (Hammerbauer, 1998).



Obr. 1.19 – Schéma stabilizátoru napětí s regulačním členem

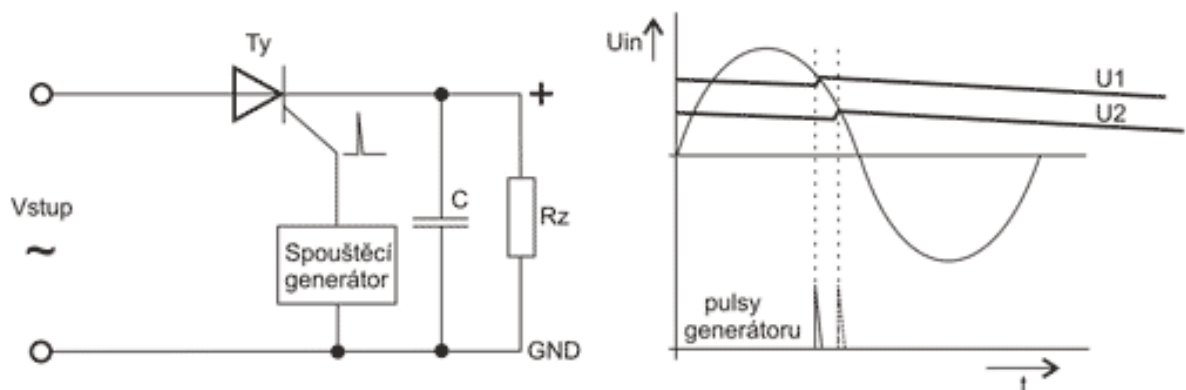
Na obr. 1. 19 je schéma znázorňující princip stabilizátoru napětí s regulačním členem. Jako regulační člen se nejčastěji používá bipolární tranzistor. Pracuje jako spojitě proměnný

odpor ovládaný operačním zesilovačem. Zde je názorná funkce lineárních zdrojů. Pro činnost stabilizátoru je nutný rozdíl napětí  $\Delta U$  mezi vstupem. Regulační člen ovlivňuje výstupní napětí pomocí velikosti svého odporu, protože je se zátěží zapojený sériově. Proud zátěže prochází regulačním členem. Velikost výkonové ztráty regulačního členu závisí na velikosti odebíraného proudu ze zdroje a velikosti napětí  $\Delta U$ . To je důvodem malé energetické účinnosti těchto zdrojů. Jsou vhodné pouze pro malé výkony. Výhodou je ovšem malé zvlnění výstupního napětí v porovnání se spínanými zdroji a rychlá reakce regulace napětí na změnu výstupního proudu. Mají proto stále uplatnění například v Hi-Fi audio technice (Hammerbauer, 1998).

Spínané zdroje mají vysokou účinnost, protože pracují ve spínacím režimu, nikoli v lineárním jako zdroje se spojitou regulací. Jsou zdrojem rušivých signálů a jejich výstupní napětí trpí větším zvlněním než zdroje se spojitou regulací. Spínané zdroje se dělí na zdroje s pracovní frekvencí sítě a na zdroje s pracovní frekvencí vyšší než síťová frekvence.

### 1.4.1 Spínané zdroje bez transformátoru

Jedná se o typ spínaného zdroje s pracovní frekvencí sítě. Na obr. 1.20 je schéma zapojení spínaného zdroje bez transformátoru. Hlavní součástí v obvodu je tyristor, který plní funkci usměrňovače síťového napětí a zároveň regulačního členu. Kondenzátor připojený ke katodě tyristoru filtruje impulzní napětí. Spouštěcí obvod analyzuje výstupní napětí a podle jeho velikosti generuje pulzy na řídicí elektrodu pro otevírání tyristoru. Spínání tyristoru musí probíhat při sestupné části kladné půlvlny, aby bylo dosaženo regulačního účinku. Průběh vstupního a výstupního napětí je v pravé části obr. 1.20. Na katodě tyristoru je tedy impulzní napětí o síťové frekvenci. Tento zdroj je vhodný pro zátěže s nízkým proudovým odběrem (Hammerbauer, 1998).



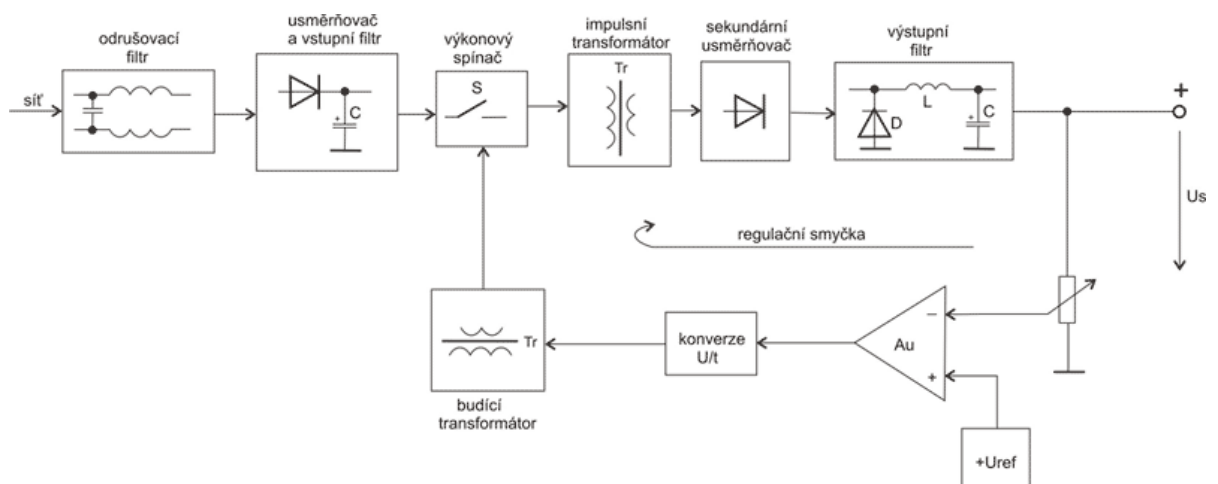
Obr. 1.20 – Schéma spínaného zdroje s tyristorem (Babčaník, 2007)

Další podskupinou spínaných zdrojů s pracovní frekvencí sítě jsou spínané zdroje s regulací v primárním obvodu transformátoru a s regulací v sekundárním obvodu transformátoru (Hammerbauer, 1998).

### 1.4.2 Spínané zdroje s frekvencí vyšší než sít'ové

Do této skupiny spadají spínané zdroje v dnešní době nejrozšířenější. Lze je najít v mnoha elektronických zařízeních v domácnosti i průmyslu.

Na přívodu sít'ového napětí je širokopásmový odrušovací filtr pro zamezení průchodu vysokofrekvenčního rušení do sítě. Usměrňovač ve spojení s vyhlazovacím kondenzátorem vytvoří stejnosměrné napětí, které se přivádí na spínací tranzistor. Zde je odlišnost od předchozích typů spínaných zdrojů, protože dochází ke spínání proudu primárním vinutím transformátoru s frekvencí řádově desítek kHz. To umožňuje minimalizovat rozměry transformátoru. Na sekundární straně je transformované pulzní napětí, které se usměrňuje dvoucestně dvěma diodami vůči středu transformátoru. Použití Graetzova zapojení usměrňovače není výhodné, protože proud musí procházet více diodami a výkonová ztráta je větší než v případě usměrnění dvěma diodami. Z důvodu vysoké spínací frekvence jsou na usměrňovací diody kladeny vysoké požadavky. Musí mít rychlou zotavovací dobu a nízký úbytek napětí. Následně se napětí vyfiltruje v LC dolní propusti. Stabilizace probíhá na principu porovnávání vyhlazeného napětí s referenčním napětím. Na základě velikosti odchylky regulátor působí pomocí PWM na střidu spínacího tranzistoru, tak aby došlo k minimalizaci rozdílu výstupního napětí a referenčního napětí. Na obr. 1. 21 je blokové schéma spínaného zdroje s pracovní frekvencí vyšší než sít'ové. Výhodami je velká energetická účinnost, velké výstupní výkony a nízká hmotnost a rozměry (Hammerbauer, 1998).



Obr. 1.21 – Blokové schéma spínaného zdroje s transformátorem (Babčaník, 2007)

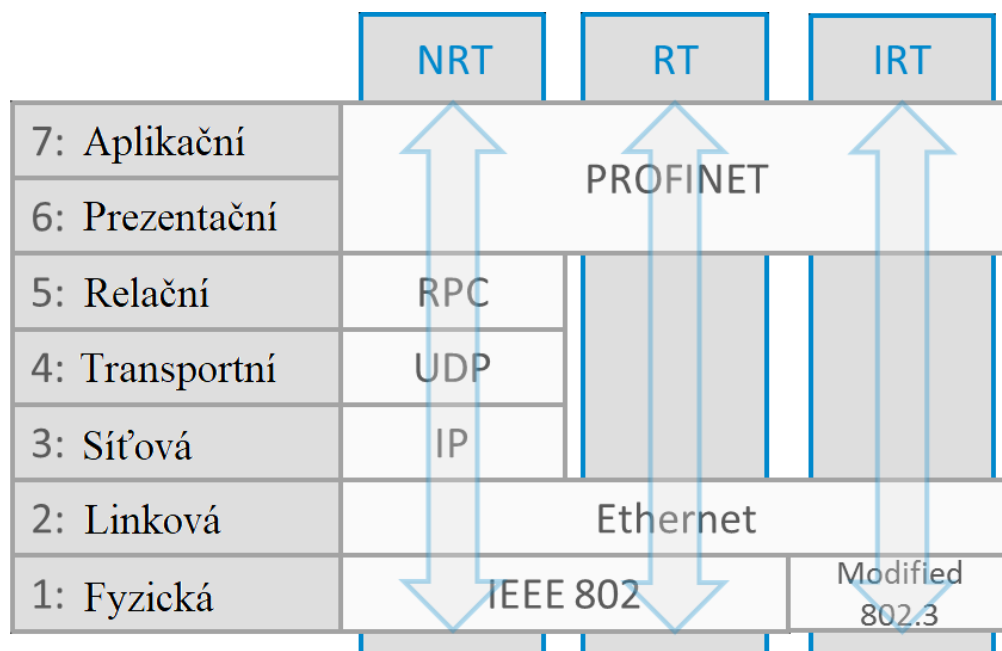
## 1.5 PROFINET

Profinet lze považovat za standard, který vymezuje datovou komunikaci po průmyslovém Ethernetu. Je navržen speciálně pro aplikace v průmyslu. Používá se pro výměnu dat mezi řídicími jednotkami a ovládanými zařízeními například mezi programovatelnými automaty a pohonnými jednotkami, vstupně-výstupními jednotkami, kde se požadují krátké doby odezvy. Výměna dat mezi komunikujícími uzly musí probíhat rychle a deterministicky.

Profinet poskytuje tři režimy komunikací v závislosti na prioritách přenosu zpráv pro danou automatizační úlohu. Tyto režimy komunikací jsou:

- standardní komunikace (NRT),
- komunikace v reálném čase (RT),
- izochronní komunikace (IRT).

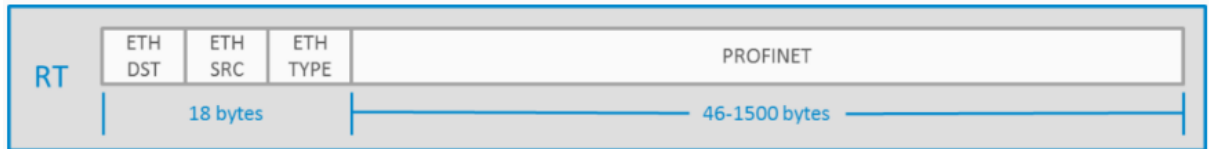
Na obr. 1. 22 je zobrazen referenční model ISO/OSI s protokolovou výstavbou. Je patrné, že Profinet využívá pro přenos dat více standardních protokolů, které mají různou dobu práce s daty, a proto se zapojují do přenosu v závislosti na komunikačním režimu. Pokud by byly využité všechny vrstvy referenčního modelu, docházelo by k nadměrné latenci přenosu, protože v každé vrstvě by muselo dojít k rozbalení PDU (protokolová datová jednotka), samotné práci s daty a zapouzdření (Profinet University, 2018).



Obr. 1.22 – Referenční model ISO/OSI standardu Profinet (Profinet University, 2018)

### 1.5.1 Komunikace v reálném čase (RT)

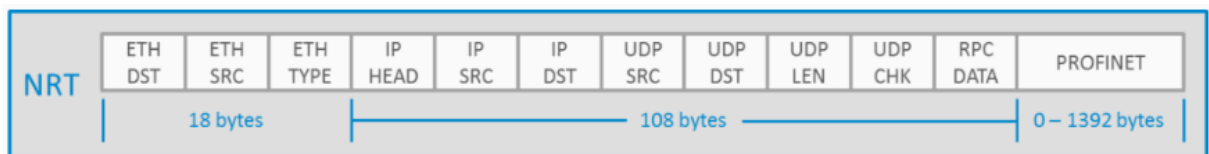
Tento režim komunikace se specializuje na přenos dat s potlačením latence. Nevyužívá relační, transportní a síťovou vrstvu referenčního modelu, to znamená, že v rámci není zapouzdřena IP adresa a nelze tedy směřovat mezi sítěmi. Z obr. 1.23 je jasné, že v rámci je zapouzdřena zdrojová a cílová MAC adresa a typ (Profinet University, 2018).



Obr. 1.23 – Rámec Profinet komunikace v reálném čase (Profinet University, 2018)

### 1.5.2 Standardní komunikace (NRT)

Standardní komunikace využívá všechny vrstvy referenčního modelu. Z toho důvodu má zvýšenou datovou režii a latenci přenosu. Lze přistupovat k zařízení z jiných sítí nebo internetu. Používá se pro časově méně náročný přenos řízených automatizačních úloh. Například přístup k diagnostickým datům z externí sítě. Na obr. 1.24 je zobrazen rámec přenosu (Profinet University, 2018).



Obr. 1.24 – Rámec Profinet standardní komunikace (Profinet University, 2018)

### 1.5.3 Izochronní komunikace (IRT)

Izochronní komunikace ještě více potlačuje latenci přenosu. Letence přenosu může vznikat na síťových přepínačích, proto se implementují pravidla pro přepínání Ethernetového provozu. Izochronní komunikace se používá pro přenosy s pohonnými jednotkami, kde je důležitá krátká doba odezvy (Profinet University, 2018).

## 1.6 ROTAČNÍ ENKODÉR

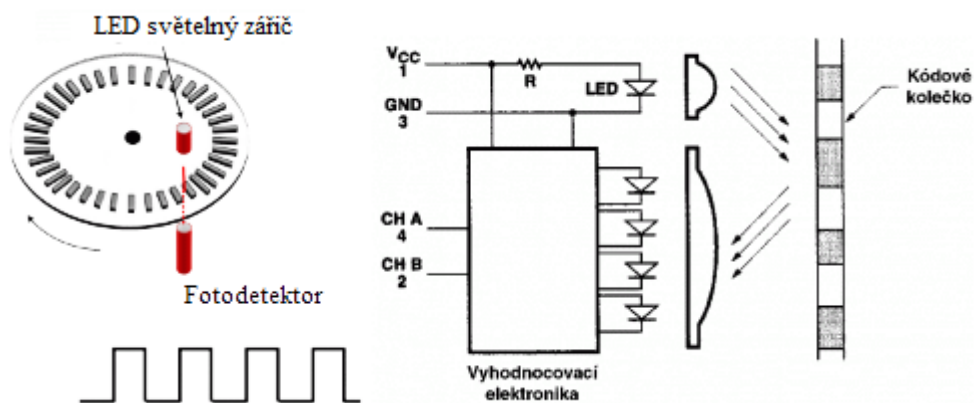
Rotační enkodéry jsou elektronická zařízení používaná pro měření polohy a rychlosti otáčení pohonů. Pro řízení robotických ramen, dopravníků a servopohonů v automatizačních

úlohách je důležité, aby řídicí prvek měl informaci o aktuální poloze, počtu vykonaných otáček, úhlu natočení atd. Rotační enkodéry převádějí mechanický otáčivý pohyb své otočné části na elektrické signály. Lze je rozdělit podle povahy výstupní informace na:

- inkrementální,
- absolutní.

### 1.6.1 Konstrukční uspořádání

Podle konstrukce lze rozlišovat různé druhy rotačních enkodérů, např. mechanický, magnetický, ovšem nejrozšířenější jsou enkodéry optické. Skládají se z hřídele, na které je namontován disk s rozmístěnými průhlednými otvory odpovídajícími dané posloupnosti generovaných signálů. Na jedné straně disku je světelný vysílač, nejčastěji LED dioda. Na druhé straně je světelný snímač optotranzistor nebo optodioda. Při otáčení hřídele enkodéru, světlo z LED diody prochází otvory v disku a dopadá na světelné snímače. Světelné impulzy snímač a elektronika převádí na elektrické obdélníkové signály.



Obr. 1.25 – Znáznornění funkce enkodéru (Vojáček, 2017)

Odlišné uspořádání mají reflexní optické enkodéry, kde světelný vysílač i snímač jsou na jedné straně disku, jak je patrné na obr. 1.25. Disk neobsahuje otvory, jako v předchozím případě, ale místo nich jsou reflexní plošky. Princip funkce je podobný. Při dopadu světla na reflexní plošku se světlo odrazí do snímače světla. Elektronika enkodéru opět upraví průběhy signálů (Vojáček, 2017).

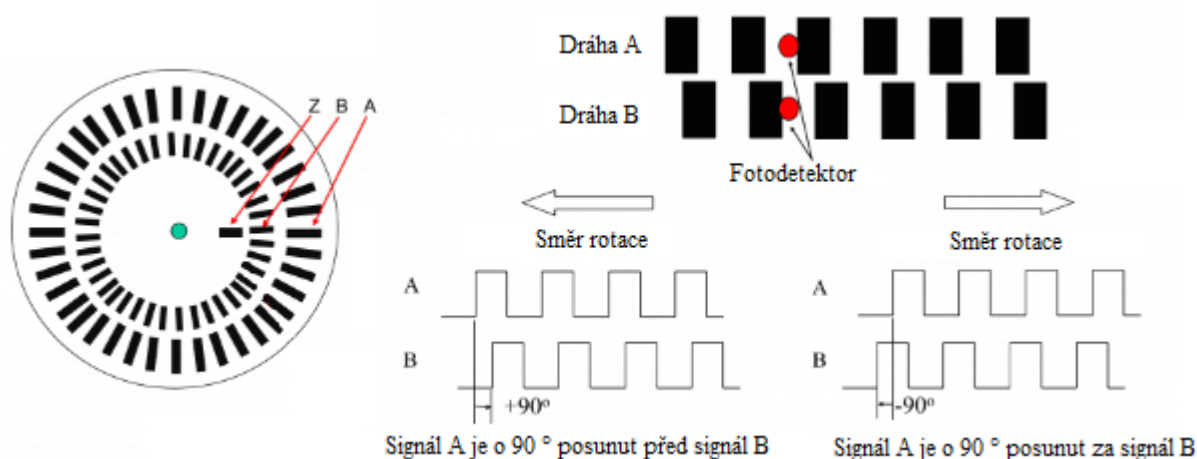
### 1.6.2 Inkrementální enkodéry

Inkrementální enkodéry při rotačním pohybu generují na výstupech pulzy, jejichž počet je závislý na úhlu natočení. Detekují změnu polohy o daný počet úhlových úseků závislých na



konstrukčním uspořádání. Znárodnění disku inkrementálního enkodéru s průběhy signálů je na obr. 1.26. Například, pokud by enkodér obsahoval 360 pulzů na jednu otáčku, tak při natočení hřídele o  $10^\circ$  by na výstupech bylo možné postupně detekovat 10 pulzů za sebou. Takto je zjištěna vzdálenost nebo úhel natočení. Pro měření rychlosti otáčení se sleduje počet příchozích pulzů za daný čas.

V praxi se používají inkrementální enkodéry, které mají dvě dráhy disku. Při otáčení hřídele enkodéru se na výstupech generují obdélníkové signály A a B vzájemně posunuté o  $90^\circ$ . Na disku se také nachází otvor mimo dvě dráhy, který v podobě výstupu Z signalizuje jednu otáčku hřídele enkodéru. Obdélníkové signály na výstupech A a B jsou vzájemně posunuty, aby řídicí jednotka byla schopna pomocí příchozí posloupnosti signálů z enkodéru získat informaci o aktuálním směru otáčení (Vojáček, 2017).



Obr. 1.26 – Průběhy signálů inkrementálního enkodéru (Vojáček, 2017)

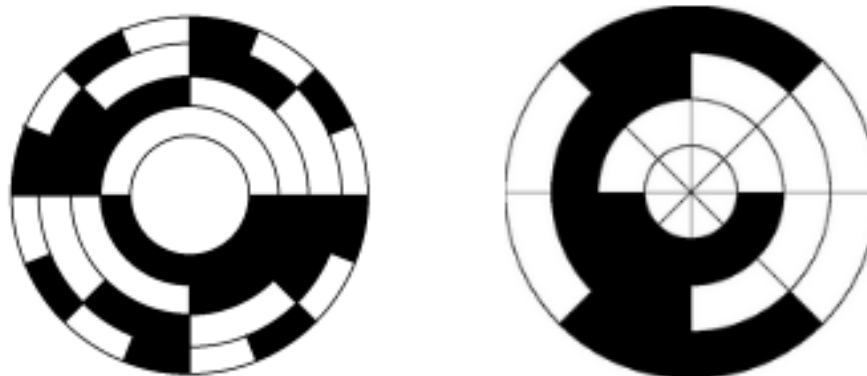
Nevýhodou inkrementálních enkodérů je, že neposkytují informaci o přesné pozici, protože řídicí jednotka z enkodéru přijímá informaci jenom o velikosti pohybu, ale nikoliv o skutečné poloze. Proto se musí na počátku natočit do výchozí polohy a další pohyb se bude vztahovat právě k této vztažné pozici. Tento problém odstraňují absolutní enkodéry.

### 1.6.3 Absolutní enkodéry

Absolutní enkodéry jsou konstrukčně složitější, ale poskytují číselnou hodnotu odpovídající přímo aktuálnímu úhlu natočení. Pro každý úhlový úsek natočení hřídele v rámci plného úhlu enkodér vysílá na výstupy danou číselnou hodnotu. Proto disk zahrnuje nejméně 8 drah a 8 světelných snímačů. Na každé dráze jsou speciálně rozmístěné otvory, aby při otáčení docházelo ke kódování polohy. Využívá se standardní binární kódování nebo Grayův kód.

Binární kód každému úhlovému úseku přiděluje číslo reprezentované v binární soustavě. V případě osmibitového enkodéru to jsou čísla od 0 do 11111111. Jedná se o jednoduché a lehce srozumitelné řešení, ale nevhodné z důvodu náchylnosti k hazardním stavům, tzn. při přechodu mezi dvěma úhlovými úseky může na světelných snímačích dojít k zachycení hodnoty, která neodpovídá aktuální poloze hřídele enkodéru. Tento jev je způsobený nedokonalostmi disku s otvory a odrazy světla. Například pokud bude natočení hřídele přecházet z hodnoty 01 do následující hodnoty 10, může krátce dojít k zachycení hodnoty 00. S vyšším rozlišením enkodérů roste náchylnost k tvorbě hazardních stavů. Tento neduh se potlačuje ve snímací elektronice metodou taktování signálu.

Jinou metodou, jak zabránit hazardním stavům, je použití disku enkodéru, kde jsou jednotlivé otvory rozmístěny v podobě Grayova kódu namísto binárního kódu. Grayův kód se vyznačuje tím, že při změně dvou sousedních hodnot (podobně, jako u binárního kódu) dojde ke změně pouze v jedné číslici hodnoty. Tento princip zabraňuje hazardním stavům. Na obr. 1.27 je vyobrazena posloupnost Grayova kódu (Vojáček, 2017).



Obr. 1.27 – Porovnání disků binárního a Grayova kódování (Vojáček, 2017)

## 1.7 ASYNCHRONNÍ MOTOR

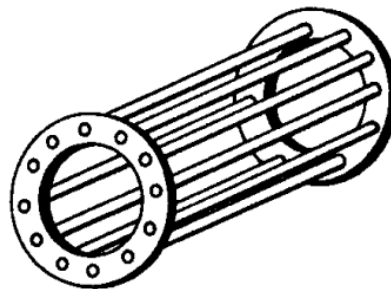
Asynchronní motor je točivý elektromagnetický stroj. Skládá se z rotoru a statoru, podobně jako krokový motor. V obou těchto částech se nachází vinutí. Na statorové vinutí se připojuje střídavé napětí. Napájení rotoru je pomocí elektrické indukce magnetického pole vinutí statoru.

Tento motor je nejpoužívanějším motorem v průmyslových aplikacích. Je oblíbený z důvodu jednoduché konstrukce a vysoké spolehlivosti. S rozvojem výkonové polovodičové techniky jsou dnes asynchronní motory většinou napájené z frekvenčních měničů. Díky tomu lze motory snadno spouštět a regulovat rychlost otáček.

### 1.7.1 Konstrukční uspořádání

Magnetický obvod statoru je složen ze vzájemně izolovaných plechů pro omezení magnetizačních ztrát. V jeho vnitřní části jsou drážky pro uložení statorového vinutí, které se obvykle ukládá ve dvou vrstvách a je rovnoměrně rozloženo po obvodu statoru. Vinutí jednotlivých fází je vůči sobě posunutá o  $120^\circ$ , aby po připojení třífázové soustavy vzniklo točivé magnetické pole. Počet drážek statoru je shodný s počtem cívek. Vývody cívek jsou upevněny ke svorkovnici motoru.

Rotor neboli kotva motoru je také složena z izolovaných plechů. Společně se statorem tvoří magnetický obvod. Stator a rotor jsou odděleny vzduchovou mezerou o velikosti řádově desetin až jednotky milimetrů. Snahou je, aby vzduchová mezera byla co nejmenší. Menší vzduchová mezera znamená vyšší účinnost stroje. Rotor má také své vinutí, které je uloženo v drážkách podobně jako v případě vinutí statoru. Rotorové vinutí je nejčastěji tvořeno kotvou nakrátko. Kotvu nakrátko tvoří jednotlivé vodivé tyče uložené v drážkách magnetického obvodu statoru. Vodivé tyče jsou na jejich koncích spojeny nakrátko, jak je vyobrazeno na obr. 1.28. V minulosti se používal také motor s kroužkovou kotvou. Kroužková kotva obsahuje vinuté cívky, jejichž vývody jsou v případě třífázového vinutí připojené na tři sběrací kroužky. Pomocí tzv. kartáčů přiléhajících na sběrací kroužky se zapojuje do rotorového obvodu přídatná impedance (Uhlíř, 2007).



Obr. 1.28 – Rotorová klec motoru s kotvou nakrátko (Uhlíř, 2007)

Připojením třífázové soustavy na vinutí statoru se uvnitř motoru vytvoří točivé magnetické pole. Siločáry tohoto pole budou protínat rotorové vinutí a indukovat v něm napětí. Protože rotorová klec nebo vinutí jsou uzavřené obvody, začne jimi procházet proud, který vybudí magnetické pole. Magnetické pole rotoru a statoru na sebe budou vzájemně silově působit a vyvolají moment síly. Rotor se začne otáčet ve směru magnetického pole statoru. S narůstajícími otáčkami se zároveň bude rychlost rotoru přibližovat k rychlosti točivého magnetického pole a z toho důvodu bude klesat i frekvence indukovaných proudů. Z této úvahy

je jasné, že rychlost rotoru nikdy nemůže být shodná s rychlostí točivého magnetického pole, protože v tu chvíli by na rotor nepůsobila žádná síla. Rychlost otáček točivého magnetického pole  $n_s$  lze určit ze vztahu

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}, \quad (1.2)$$

kde  $f$  – frekvence napájení statoru, Hz,

$p$  – počet pólových dvojic statoru.

$n_s$  – otáčky točivého magnetického pole statoru,  $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ .

Pokud by pomocí vnější síly bylo umožněno rotoru se otáčet rychleji než točivé magnetické pole, pak magnetické pole rotoru bude indukovat napětí ve statoru a motor bude pracovat jako generátor. V praxi připadá v úvahu ještě případ, kdy se točivé magnetické pole otáčí proti směru magnetického pole rotoru. Jedná se o protiproudé brzdění. Energie točivého magnetického pole a mechanická energie se v motoru mění na teplo.

Důležitou vlastností asynchronních motorů je tzv. skluz. Vyjadřuje míru rozdílu otáček točivého magnetického pole a otáček rotoru. Je dán vztahem

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}, \quad (1.3)$$

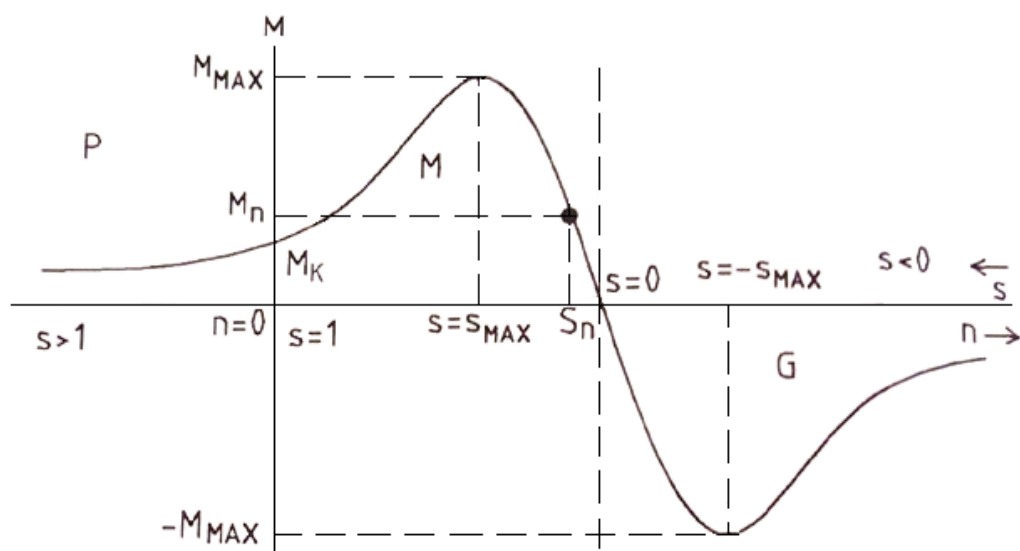
kde  $n$  – mechanické otáčky rotoru,  $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ ,

$n_s$  – otáčky točivého magnetického pole statoru,  $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ ,

$s$  – skluz.

### 1.7.2 Momentová charakteristika

Momentová charakteristika vyjadřuje závislost momentu motoru na skluzu. Je vyobrazena na obr. 1.29. V oblasti P se motor nachází v režimu protiproudého brzdění. Oblast M vyjadřuje motorický režim a oblast G je generátorické brzdění. Při nulových otáčkách rotoru má motor tzv. záběrný moment  $M_k$  neboli moment nakrátko. Se zvyšujícími otáčkami se zvyšuje moment motoru do maximální hodnoty momentu  $M_{\max}$ , pak moment postupně klesá. Pro stabilní provoz asynchronního motoru se musí pracovní bod v charakteristice nacházet mezi nulovou hodnotou skluzu a hodnotou skluzu zvratu  $s_{\max}$ . Pokud by při provozu motoru byla překročena hodnota zatěžovacího momentu o velikosti maximálního momentu  $M_{\max}$ , došlo by ke ztrátě otáček (Uhlíř, 2007).



Obr. 1.29 – Momentová charakteristika motoru s kotvou nakrátko (Uhlíř, 2007)

### 1.7.3 Spouštění motoru

Nevýhodou asynchronních motorů je, že po skokovém připojení napájecího napětí motorem prochází proud nakrátko. Tento proud je omezen jen velmi malou impedancí. Od okamžiku připojení napájecího napětí po úplné roztočení proud postupně klesá až do hodnoty nulového skluzu. Proud nakrátko dosahuje pěti až desetinásobek jmenovitého proudu s ohledem na velikost výkonu motoru. Není tedy vhodné motory s vysokým výkonem spouštět přímo připojením k síti z důvodu vzniku proudového nárazu.

Přepnutím statorového vinutí při rozběhu motoru do hvězdy se zmenší záběrný proud i moment rotoru na 1/3 plného záběrného proudu. Přepnutí do trojúhelníku se potom uskutečňuje zhruba po dosažení 85 % jmenovitých otáček rotoru.

Rozběh motoru pomocí spouštěcího transformátoru se používá pouze ve výjimečných případech. Využívá se autotransformátorů s několika odbočkami sekundárního vinutí. Tímto způsobem lze dosáhnout menšího záběrného proudu, než umožňuje předchozí metoda.

Snížení záběrného proudu se také dosahuje zvláštní rotorovou klecí. Odporovou klecí se zvýší záběrný moment, sníží záběrný proud a účinnost motoru. Tyče odporové klece jsou zhotoveny z materiálu o větším měrném odporu, než má měď.

Dvojitá klec spojuje výhody jednoduché a odporové klece. Skládá se z konstrukce dvou klecí vedle sebe nebo pod sebou s tyčemi odlišného odporu. Pracovní klec se uplatňuje v provozu a je blíže osy rotoru než klec rozběhová, která se uplatňuje při rozběhu motoru.

Vírovou klecí je také možné snížit záběrný proud a zvýšit záběrný moment jako v případě dvojité klece. Princip spočívá podobně jako u dvojité klece v rozdílných impedancích klece v závislosti na vzdálenosti od osy rotoru.

V dnešní době je nejrozšířenějším způsobem spouštění asynchronních motorů pomocí frekvenčních měničů. Pozvolnou změnou frekvence napájecího napětí lze plynule korigovat záběrný moment a záběrný proud.

#### 1.7.4 Řízení rychlosti otáček motorů

Úpravou vztahů pro určení skluzu  $s$  a synchronních otáček točivého magnetického pole  $n_s$  v pododdílu 1.7.1 se získá vztah určující otáčky rotoru

$$n = (1 - s)n_s = (1 - s)\frac{60f}{p}, \quad (1.4)$$

kde  $n$  – mechanické otáčky rotoru,  $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ ,

$n_s$  – otáčky točivého magnetického pole statoru,  $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ ,

$s$  – skluz,

$f$  – frekvence napájení statoru, Hz,

$p$  – počet pólových dvojic statoru.

Ze vztahu je patrné, že změnu rychlosti otáček motoru lze provádět změnou frekvence napájecího napětí, skluzu a počtu pólových dvojic statoru. Regulovat otáčky je tedy možné změnou některé z těchto veličin:

- Regulace změnou skluzu  $s$  je založena na sklonění momentové charakteristiky v závislosti na změně napětí na svorkách motoru s následnou změnou skluzu pro daný moment tj. posunutím pracovního bodu. Je prováděna přepínáním vinutí statoru hvězda/trojúhelník, vložením impedance do napájení statoru, autotransformátorem a podobně. Nevýhodou je značná závislost otáček na zatížení motoru a nevhodný provoz. Z momentové charakteristiky na obr. 1.29 je zřejmé, že pro stabilní ovládání rychlosti otáček pomocí skluzu je přípustná změna hodnot od  $s_{\max}$  do  $-s_{\max}$ .
- Regulace počtem pólů  $p$ . Přepínáním počtu pólů lze dosáhnout pouze skokové změny otáček, protože počet pólových dvojic musí být celé číslo. Sériově se vyrábí motory s maximálně čtyřmi póly. Pro tento druh regulace se musí použít motor se dvěma samostatnými vinutími nebo vinutím v provedení Dahlander D/YY. Dříve

se vyráběly i tříotáčkové motory se třemi vinutími. Z výše uvedeného plyne, že je možné otáčky přepínat pouze mezi dvěma hodnotami z řady 2800, 1400, 930, 700 otáček za minutu. Nevýhodou je dražší dvouotáčkový motor a pouze skoková změna mezi dvěma otáčkami.

- Regulace změnou frekvence napájecího napětí  $f$ . Napájením motoru z frekvenčního měniče lze řídit frekvenci a efektivní hodnotu výstupního napětí a tím rychlost otáčení magnetické pole statoru. Synchronní otáčky motoru tak odpovídají výstupní frekvenci měniče. Frekvence výstupního napětí měniče se může měnit od nuly až po několikanásobek frekvence sítě. Motor napájený frekvenčním měničem pak má otáčky rozdílné, než by odpovídaly otáčkám motoru napájenému přímo ze sítě. Tato metoda ovládání otáček motoru je v průmyslu nejpoužívanějším řešením. Frekvenční měniče poskytují i snadné spouštění motorů.

## 1.8 FREKVENČNÍ MĚNIČ

V minulosti se pro změnu frekvence napětí využívaly mechanické rotační měniče tzv. motorgenerátory. S rozvojem výkonových polovodičových prvků se začaly používat elektronické frekvenční měniče, které dosahovaly vyšší účinnosti než rotační měniče. Frekvenční měniče jsou zařízení, která slouží k ovládání otáček asynchronních motorů. Přeměňují síťové napětí o frekvenci 50 Hz na napětí s proměnnou velikostí a frekvencí. Frekvence výstupního napětí měniče se může měnit od nuly až po několikanásobek frekvence sítě. Motor napájený frekvenčním měničem pak má otáčky rozdílné, než by odpovídaly otáčkám motoru napájenému přímo ze sítě.

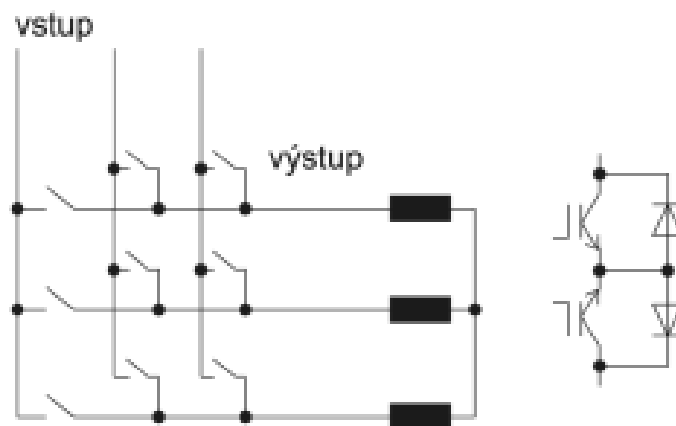
### 1.8.1 Druhy frekvenčních měničů

Jedná se několik odlišných způsobů přeměn vstupního napětí na napětí o odlišné frekvenci pro napájení motoru. Každý druh frekvenčního měniče má výhody a nevýhody v jiném směru pohledu. Jsou zde uvedeny pouze elektronické měniče, protože mechanické měniče jsou v dnešní době používány jen velmi zřídka (Novák, 2016).

#### Přímý frekvenční měnič

Přímý frekvenční měnič přeměňuje vstupní střídavé napětí a frekvenci o konstantních velikostech na výstupní střídavé napětí a frekvenci proměnných velikostí. Nazývají se přímé, protože změna napětí a frekvence se provádí bez usměrnění vstupního střídavého napětí na

rozdíl od nepřímých frekvenčních měničů. Tyto měniče lze rozdělit na měniče se sítovou komutací a měniče s vlastní komutací. Měníče se sítovou komutací jsou osazeny tyristory. Obsahují minimálně 36 tyristorů pro třífázový měnič. Jejich hlavní nevýhodou je malý rozsah frekvence výstupního napětí. Není vhodný pro asynchronní motory. Měníče s vlastní komutací, nazývají maticové měniče, tvoří zapojení na obr. 1.30. Výstupní napětí je řízeno PWM modulací tak, že části vstupního napětí jsou připojovány na výstupní fáze a z nich je složen průběh výstupního napětí o dané frekvenci. Tento typ frekvenčního měniče vyžaduje velmi složitý algoritmus řízení výkonového stupně (Novák, 2016).

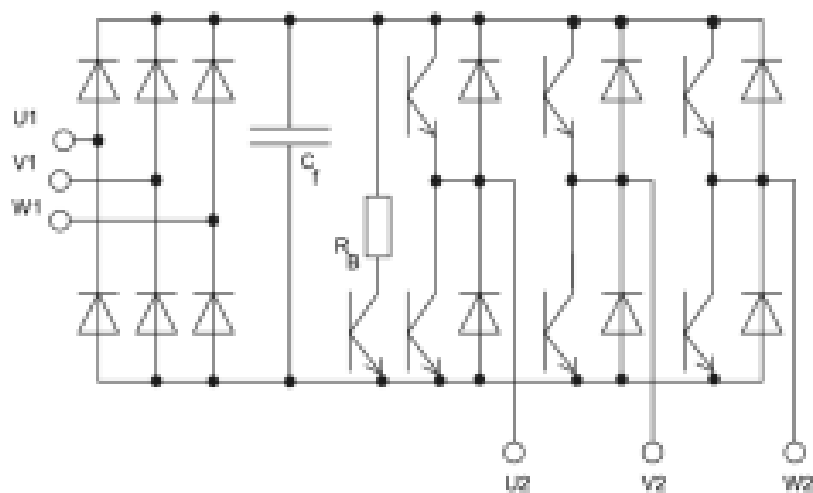


Obr. 1.30 – Znázornění výkonového stupně maticového měniče (Novák, 2016)

### Nepřímý frekvenční měnič

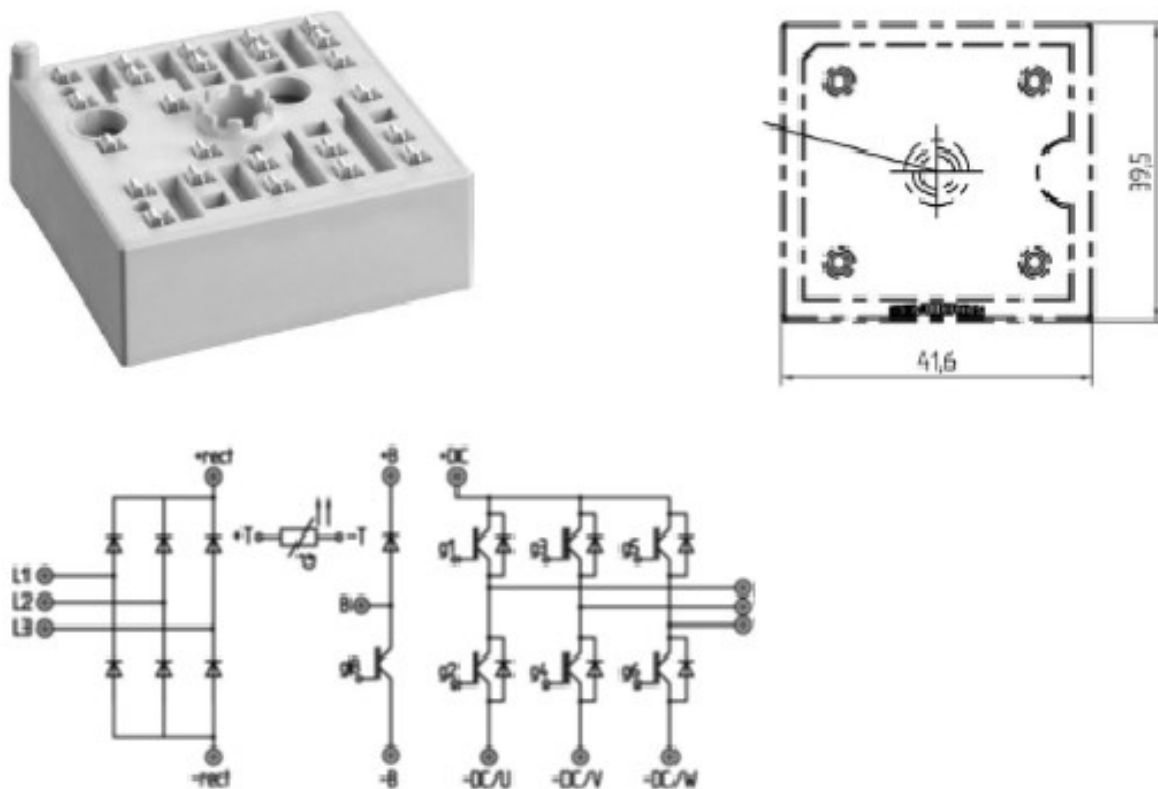
Nepřímý frekvenční měnič je složen ze zapojení vstupního usměrňovače, stejnosměrného meziobvodu a střídače. Lze provést rozdělení na měniče s proměnným napětím v meziobvodu a měniče s konstantním napětím v meziobvodu. Měníče s proměnným napětím v meziobvodu ovládají velikost výstupního napětí změnou stejnosměrného napětí v meziobvodu pomocí řízeného tyristorového usměrňovače. Frekvence výstupního napětí se řídí spínáním prvků střídače. Tímto způsobem je možné rekuperovat energii zpět do sítě při brzděném režimu asynchronního motoru. Měníče s konstantním napětím v meziobvodu využívají diodový usměrňovač. Velikost výstupního napětí i frekvence je řízena spínáním prvků střídače. Schéma měniče s konstantním napětím v meziobvodu je na obr. 1.31. Z důvodu použití diodového usměrňovače nelze rekuperovat vzniklou energii v brzděném režimu asynchronního motoru do sítě. Proto je v meziobvodu umístěn brzdový odpor  $R_B$  se spínacím prvkem. Činná energie generovaná brzdícím motorem se tímto rezistorem přeměňuje na teplo (Novák, 2016).





Obr. 1.31 – Znárodnění mēničē s konstantnīm napětīm (Novák, 2016)

V dnešnī dobē jsou frekvenční mēničē vyrábēny ve velkých seriích, a proto byly vyvinuty speciální obvody IGBT. Například obvod SKiiP 11NAB126V1 v sobē obsahuje veškeré výkonové polovodiče pro frekvenční mēnič do výkonu 4 kW. Rozměry a zapojení jsou na obr. 1.32.



Obr. 1.32 – Výkonový obvod IGBT (Semikron, nedatováno)

### 1.8.2 Metody frekvenčního řízení

Skalární řízení – lze nastavovat konstantní jmenovitou velikost magnetického toku. V podstatě reguluje výstupní kmitočet a napětí v poměru  $U/f = \text{konstanta}$ . Používá se u motorů s nízkými nároky na dynamické vlastnosti, například čerpadla a ventilátory. Skalární řízení je nepoužitelné pro regulaci stroje v oblasti nulových otáček.

Vektorové řízení – kromě velikosti magnetického toku lze nastavovat i jeho směr a tím můžeme docílit plynulou změnu otáček při jakémkoliv režimu práce a zatížení. Jde o dokonalejší způsob řízení otáček. Vektorové řízení umožňuje generovat moment i v oblasti nulových otáček. Starší implementace vektorového řízení vyžadovaly čidlo otáček, dnes se již používají metody pro bezsensorovou identifikaci stavu stroje.

Přímé řízení momentu (DTC) – jde rovněž o pokročilou metodu řízení, která však nezajistí plnou dynamiku při nízkých nebo nulových otáčkách. Výhodou DTC je, že řídicí algoritmus je jednoduchý, přímo generuje stav sepnutí tranzistorů a nevyžaduje čidlo otáček nebo náročnou identifikaci stavu stroje.

### 1.8.3 Ovládání frekvenčního měniče

Nejjednodušeji lze frekvenční měnič ovládat přímo pomocí čelního panelu. Většina běžných měničů obsahuje jednoduchý monochromatický segmentový displej s tlačítky start, stop, funkčními tlačítky a tlačítky posuvů v menu. Tímto panelem je možné nakonfigurovat důležité parametry ovládání motoru, funkce vstupů měniče a mnoho dalších možností. Tlačítka start a stop se měnič aktivuje nebo deaktivuje.

Další variantou je pomocí analogového vstupu. Velikostí hodnoty napětí nejčastěji 0 V až 10 V nebo hodnoty proudu 0 mA až 20 mA lze měnit hodnotu předem určeného parametru měniče, velmi často hodnoty frekvence napájecího napětí motoru pro ovládání otáček. Na analogový vstup se také často připojuje potenciometr. Využitím digitálních vstupů měniče se potom může spouštět, zastavovat nebo měnit směr otáčení motoru.

Pokročilejšími způsoby ovládání frekvenčních měničů je pomocí standardních sběrnic a komunikačních protokolů. V současnosti je velmi oblíbený standard Profinet, který využívá pro komunikaci průmyslový Ethernet. Uplatňují se i jiné standardy, jako například Profibus a Modbus. Těmito způsoby lze získat plnou kontrolu nad ovládáním motoru, protože je možné z měniče i číst parametry o aktuálních stavech motoru. Nevýhodou je, že k některým měničům je nutné dokoupit komunikační rozhraní těchto standardů.

## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

Cílem této práce je vytvořit řídicí jednotku pro zautomatizování stávající brusky ledních bruslí. Jedná se o zařízení, do kterého se upne brusle a obsluha stroje ručně posunuje po ostří kotoučovou brusku střídavě od jednoho konce čepele brusle k druhému do doby, než je čepel ostrá. Důvodů, proč se vyžaduje vytvořit automatický proces broušení, je několik. Zejména usnadnění práce obsluhy stroje a zvýšení kvality broušené čepele. Je zřejmé, že ruční manipulací s bruskou při broušení nebude dosažena taková kvalita broušení, jako když s bruskou bude pohybovat elektromotor s konstantní rychlostí, kterou bude možné jednoduše nastavit. Obsluha nastaví potřebné parametry broušení daných bruslí a samotný proces broušení je naprosto stejný pro obě brusle. Člověk by nedokázal manuálně nabrousit obě brusle se stejnou kvalitou. Usnadnění práce obsluhy je v tom, že stačí upevnit brusli, nastavit parametry a spustit broušení. Samotné broušení proběhne zcela automaticky. Toto jsou zjevné argumenty pro vytvoření automatického řízení stroje.

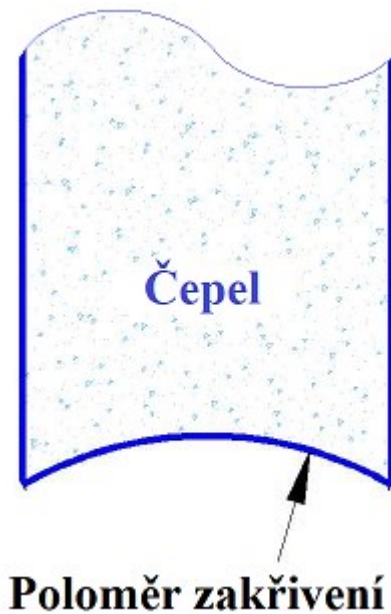
### 2.1 PROBLEMATIKA OSTŘENÍ BRUSLÍ

Mít správně a kvalitně nabroušené brusle je naprosto zásadní pro provozování jakéhokoliv ledního sportu. Zde je stručně vysvětleno, jak vypadá profil čepele a jaké parametry ovlivňují její tvar a také jakým způsobem se provádí broušení.

#### 2.1.1 Profil čepele

Část brusle, která je při bruslení ve styku s ledem, není rovná plocha, ale žlábek s daným poloměrem zakřivení. Tento žlábek je nezbytný pro stabilitu jízdy a koordinaci pohybu bruslařem.

Rozměry žlábků jsou závislé na mnoha faktorech bruslaře. Na obr. 2. 1 je znázorněna čepel brusle. V první řadě se poloměr zakřivení žlábků čepele odvíjí od způsobu použití bruslí. Rychlobruslaři požadují velký poloměr zakřivení, naopak u hokejistů, kteří často provádějí rychlé manévry, potřebují menší poloměr zakřivení čepele, aby se hrany ostří zarývaly hlouběji do ledu a nedocházelo k podklouznutí. Dalším důležitým aspektem je hmotnost bruslaře. Platí, že čím je bruslař těžší, tím bude požadovat větší poloměr zakřivení žlábků čepele. V neposlední řadě se v požadavku na poloměr zakřivení žlábků projevují bruslařovy schopnosti. Pro bruslaře začátečníky se doporučuje větší poloměr zakřivení žlábků (StateNY, 2007).



Obr. 2.1 – Znázornění zakřiveného žlábků čepel brusle (StateNY, 2007)

Zakřivení žlábků čepel není jediným parametrem bruslí. Důležitý je také tvar profilu brusle. Jde o to, že přední a zadní část čepel je zakřivená s určitým poloměrem. Hokejisté vyžadují velký poloměr zakřivení konců čepel, aby na ledě dokázali dobře manévrovat. Velikost zakřivení konců čepel je závislá na výšce bruslaře. Naopak rychlobruslaři požadují dlouhou a rovnou čepel, aby byla co největší styková plocha ledu a čepel a tím docházelo k nižšímu tření, namérovatelnost bude naopak menší (StateNY, 2007).

### 2.1.2 Princip broušení čepel

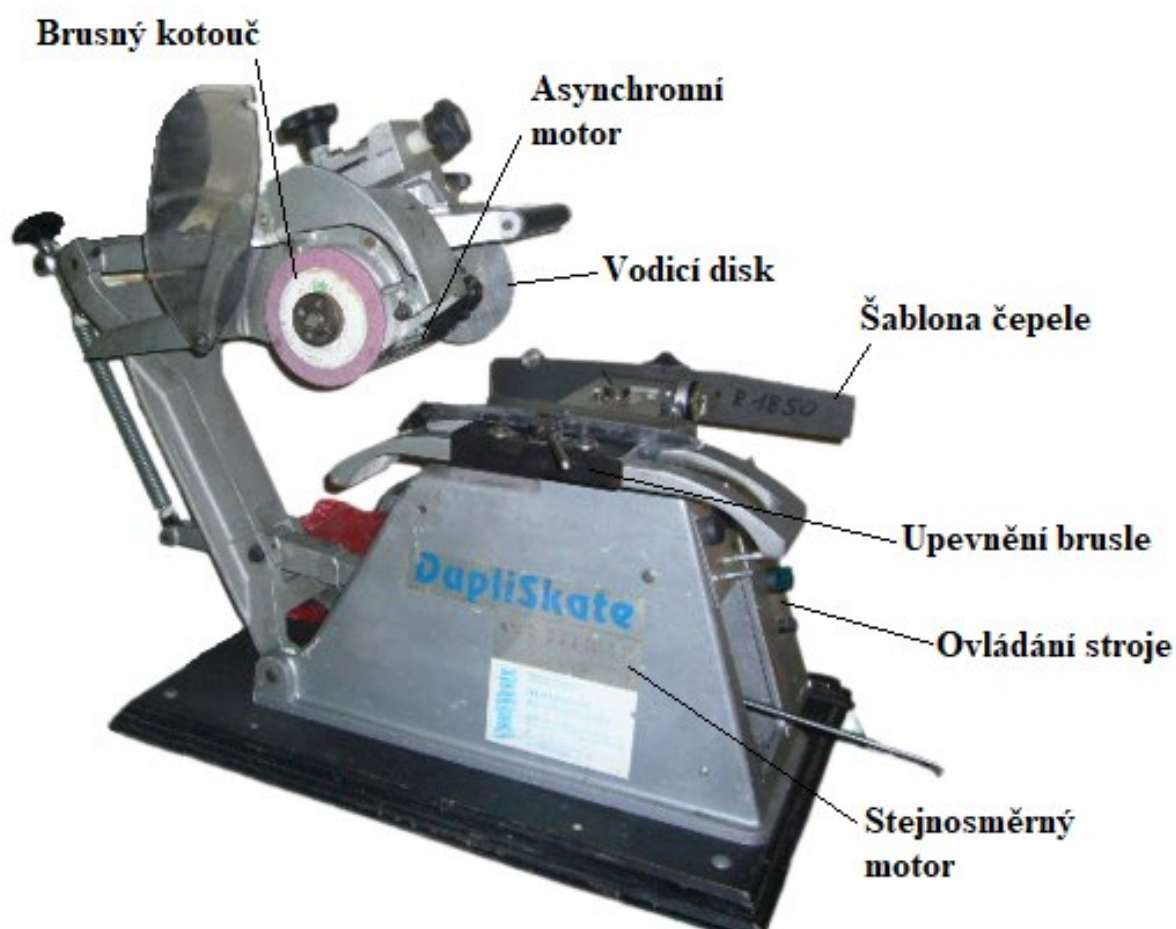
Nejprve se brusle pevně upne do stroje. Pak se nastaví poloha čepel brusle tak, aby brusný kotouč směřoval po celé délce čepel na střed žlábků. Při broušení musí být zajištěno, že brusný kotouč bude obrousovat bruslí podle požadovaného profilu. Tento požadavek zajišťuje vhodná šablona profilu, která se do stroje vkládá společně s broušenou bruslí. Do brusky se namontuje brusný kotouč s odpovídajícím poloměrem zakřivení, aby bylo docíleno vybroušení žlábků čepel s požadovaným poloměrem zakřivení. Brusný kotouč se roztočí a s rovnoměrným posuvem brusky obrousuje povrch čepel střídavě z jednoho konce brusle na druhý a zpět do doby, než jsou hrany ostré. Po ukončení této fáze broušení je nezbytné povrch čepel vyhladit. Pro precizní vyhlazení se na broušený povrch nanese mazivo. Vyhlazování se pak provádí zvýšenou rychlostí otáček brusného kotouče a sníženou rychlostí posuvu. Bruska pak vykoná pouze jeden přejezd přes čepel. Tím je broušení dokončeno. Brusle se vyjme ze stroje a případně se manuálně brouskem očistí hrany čepel od otřepů.

## 2.2 VÝCHOZÍ STAV

V této části textu je popsán původní stav stroje brusky před jeho úpravou na automatické řízení. Na počátku byl zakoupen starší stroj brusky od firmy DupliSkate. Ovládání pohybu brusky po čepeli bylo pouze manuální pomocí rukojeti. Později se ke stroji namontoval pohon se stejnosměrným motorem, který nahradil manuální ovládání.

### 2.2.1 Původní konstrukce stroje

Na obr. 2.2 je fotografie stroje na broušení čepelí bruslí před zautomatizováním. Brusný kotouč je poháněný asynchronním motorem. Naproti brusnému kotouči je kovový vodící disk spojený s vrchní částí stroje brusky. Tento disk se při broušení odvaluje po šabloně čepelí. Bruska tedy bude kopírovat profil šablony a obrušovat povrch čepelí v závislosti na profilu šablony.



Obr. 2.2 – Stroj brusky před zautomatizováním

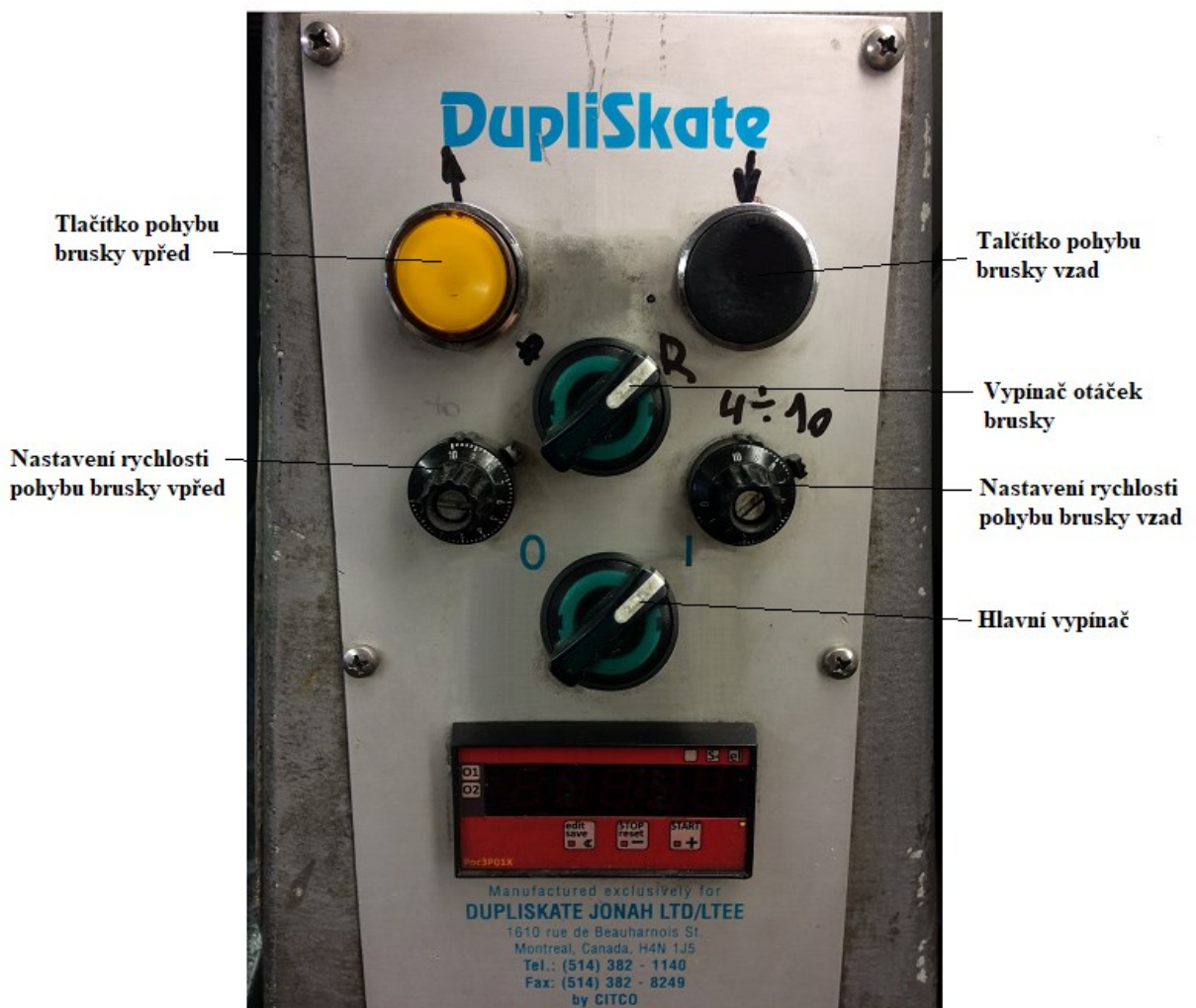
Bruska je upevněná na pohyblivém rameni. Pružina ramene působí proti tíhové síle brusky. Velikost tahové síly pružiny lze nastavit a určit tím velikost přtlaku brusného kotouče na čepel brusle. Rameno umožňuje pohyb brusky v jedné ose po celé délce čepele. Pohyb ramene s bruskou je poháněn šroubovicovým pohonem se stejnosměrným motorem. Na obr 2.2 pohon ramene není vidět, nachází se uvnitř stroje brusky. Patrná je pouze tyč přenášející pohyb do ramene. Upevnění brusle se provádí otočným prvkem znázorněným na fotografii obr. 2.3, která ukazuje stroj brusky s upevněnou bruslí. Je samozřejmě nutné dalšími prvky nastavit čepel brusle do osy s brusným kotoučem, aby se broušení uskutečňovalo uprostřed drážky čepele. Broušení se ovládá tlačítky na přední straně stroje brusky.



Obr. 2.3 – Ukázka stroje brusky s upevněnou bruslí

## 2.2.2 Původní ovládání stroje

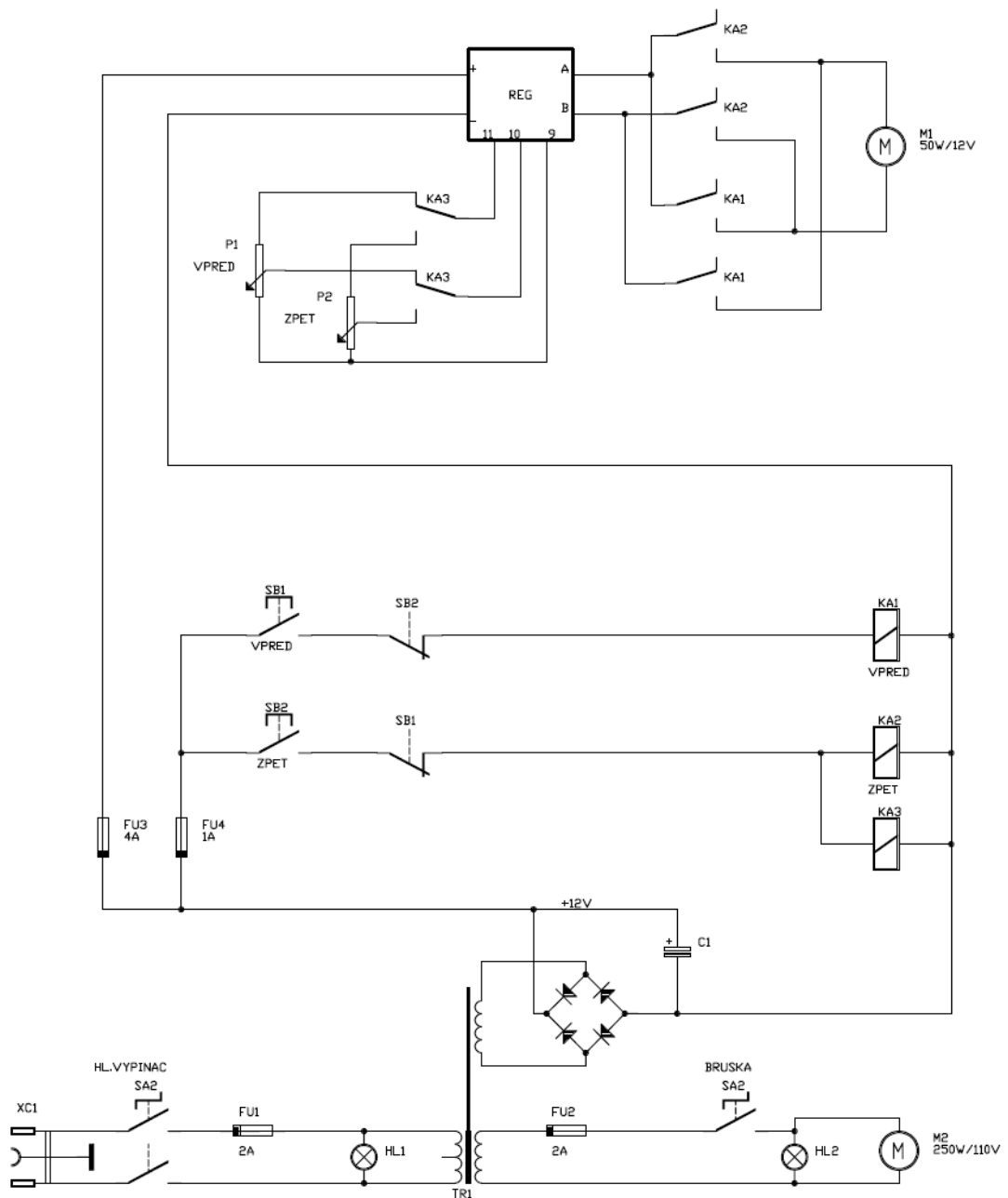
Stroj brusky se v původním stavu ovládal dvěma tlačítky. Tlačítka sloužila pro ovládání směru pohybu brusky. Stiskem jednoho tlačítka se bruska pohybovala vpřed a stiskem druhého tlačítka se pohybovala opačným směrem. Rychlost pohybu v daném směru se nastavovala potenciometrem. Spouštění brusného kotouče se provádělo spínačem. Rychlost otáček brusného kotouče nebylo možné ovládat. Na panelu stroje brusky se nacházel ještě hlavní vypínač, který sloužil pro zapnutí napájení stroje. Na obr. 2.4 je vyobrazen panel s ovládacími prvky stroje brusky. Dráha, po které se bruska pohybovala, nebyla ohraničena koncovými spínači. Obsluha brusky musela včas uvolnit tlačítko, aby nedošlo k poškození pohonu.



Obr. 2.4 – Panel stroje brusky původního ovládání

Na obr. 2.5 je schéma zapojení elektroniky pro ovládání brusky. Síťové napětí 230 V se přivádí přes hlavní vypínač na transformátor s napětím na sekundárních vinutích 12 V a 110 V. Napájení stejnosměrného motoru M1 ovládající pohyb brusky je zajištěno regulátorem, pomocí

kterého se ovládají otáčky motoru posuvu. Regulátor je napájený napětím 12 V z usměrňovače. Na výstupy regulátoru A a B se připojuje stejnosměrný motor. Přepínací kontakty relé KA1 a KA2 zapojené mezi motor a výstupy regulátoru slouží pro změnu polarity napětí motoru a tím ke změně směru otáčení motoru. Výstupy regulátoru 9 a 11 slouží pro napájení dvou potenciometrů. Na vstup 10 regulátoru se přivádí napětí z daného jezdcce potenciometru a v závislosti na jeho velikosti se ovládá napětí na výstupech A a B pulzně-šířkovou modulací.



Obr. 2.5 – Původní schéma zapojení elektroniky stroje brusky



Po stisku jednoho z tlačítek pro ovládání posuvu brusky sepne relé odpovídajícího směru. Spínací kontakty tohoto relé připojí stejnosměrný motor na výstup regulátoru s napětím dané polaritou. Relé K1 a K2 jsou vzájemně blokovány. Nelze je tedy sepnout současně. Motor M2 je asynchronní motor brusného kotouče.

## 2.3 NÁVRH ŘEŠENÍ

V této části textu je objasněná jednoduchá změna na konstrukci stroje brusky, požadavky na ovládání, návrh komponentů pro vytvoření řídicího systému a samotný postup tvorby řídicího systému.

### 2.3.1 Požadované funkce a ovládání stroje

Ovládacími prvky stroje brusky bude joystick s funkcí tlačítek při jeho vychýlení, tlačítka start a stop brusky a dotykový displej.

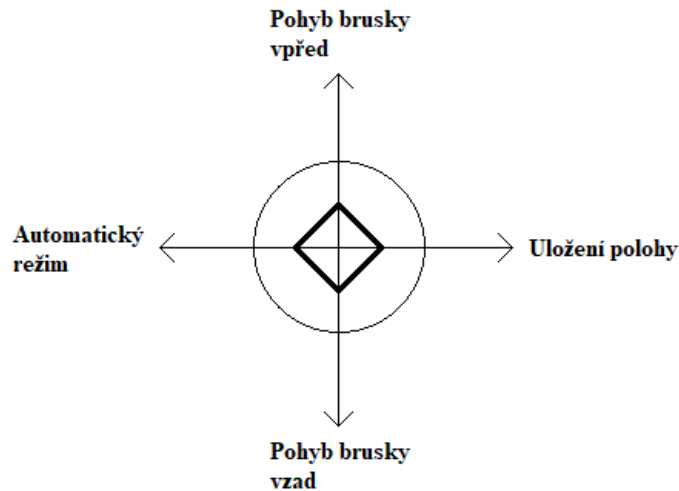
Ovládání brusky bude rozděleno do ručního a automatického režimu. Po zapnutí stroje se bude ovládání nacházet v ručním režimu. V tomto režimu se upevní a seřídí poloha brusle, nastaví se parametry broušení a potom se ovládání přepne do automatického režimu.

#### Ruční režim

V ručním režimu bude umožněno nezávislé ovládání otáček brusného kotouče a pohybu brusky, podobně jako tomu je ve stávajícím stavu stroje.

Ruční režim bude umožňovat tlačítkem start a stop zapínání a vypínání otáček brusného kotouče. Rychlost otáček kotouče bude nastavitelná v rozmezí  $2000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$  až  $5000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$  na dotykovém displeji. Vychýlením joysticku směrem vpřed nebo vzad se také tímto směrem bude pohybovat posuv brusky s rychlostí pohybu nastavenou na dotykovém displeji. Ovládání stroje brusky v jednotlivých směrech joysticku je na obr. 2. 6.

V tomto režimu se mimo jiné budou nastavovat koncové polohy, mezi kterými se bude bruska pohybovat po přepnutí do automatického režimu. Tato vzdálenost bude určovat délku broušené čepě brusle. Obsluha stroje brusky pomocí joysticku najede s brusným kotoučem na jeden konec čepě a vychýlením joysticku doprava se uloží tato poloha konce čepě do řídicí jednotky. Stejným způsobem se provede uložení druhé krajní polohy čepě. Hodnoty krajních poloh budou následně využívány v automatickém režimu.



Obr. 2.6 – Požadované funkce joysticku v ručním režimu

### Automatický režim

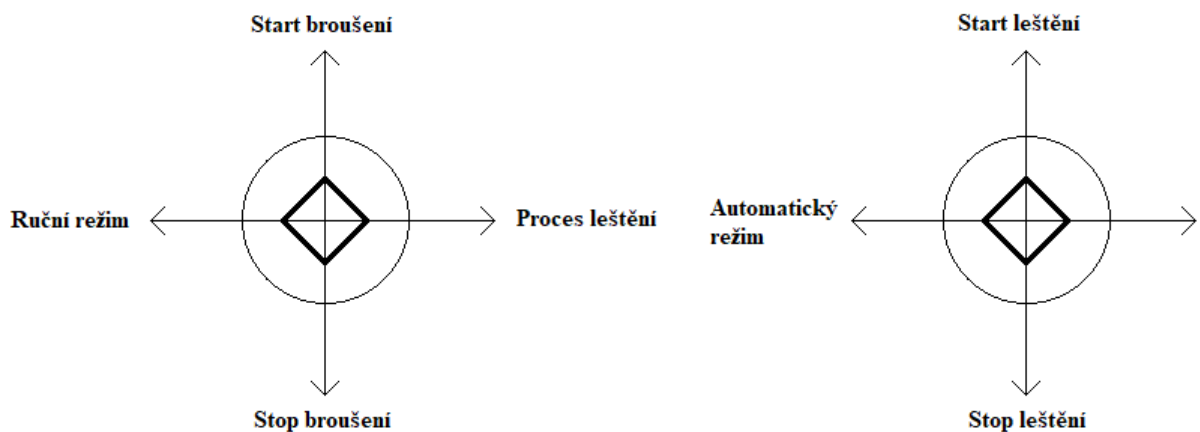
V automatickém režimu se bude provádět vlastní broušení čepele brusle s předem nastavenými parametry. Funkce joysticku oproti ručnímu režimu bude odlišná.

Po vstupu do automatického režimu se brusný kotouč samočinně přemístí do přední krajní polohy čepele a řídicí jednotka bude vyčkávat na povel startu broušení. Nejdříve obsluha nastaví parametry broušení. Parametry broušení jsou rychlost pohybu brusky vpřed, rychlost pohybu brusky vzad, rychlost otáček brusného kotouče a počet požadovaných cyklů broušení. Cyklem broušení se rozumí vykonání pohybu brusky od přední krajní polohy čepele k zadní krajní poloze čepele a zpět. Všechny tyto parametry se zadávají do řídicí jednotky z dotykového displeje. Ovládání brusky pomocí joysticku v automatickém režimu a v procesu leštění je zobrazeno na obr. 2. 7.

Po nastavení požadovaných parametrů lze spustit broušení pomocí vychýlení joysticku směrem vzad. Tím se spustí otáčky brusného kotouče a po jeho roztočení začne bruska vykonávat jednotlivé cykly broušení. Pokud bude chtít obsluha z nějakého důvodu přerušit proces broušení, provede to vychýlením joysticku směrem vpřed. Bruska dojede do nejbližší krajní polohy a zůstane stát. Pro opětovné uvedení do provozu obsluha vychýlí joystick směrem vzad jako při startu a broušení bude pokračovat. Po dokončení daného počtu cyklů broušení se bruska zastaví v přední krajní poloze čepele. Obsluha zkontroluje ostrost hran čepele a v případě potřeby znovu nastaví následovný počet cyklů broušení a bude proces opakovat. Pokud by se obsluha rozhodla o návrat do ručního režimu, provede se to vychýlením joysticku

vlevo. Tímto je broušení čepele hotové a bude ještě nutné čepel vyhladit neboli vyleštit její povrch.

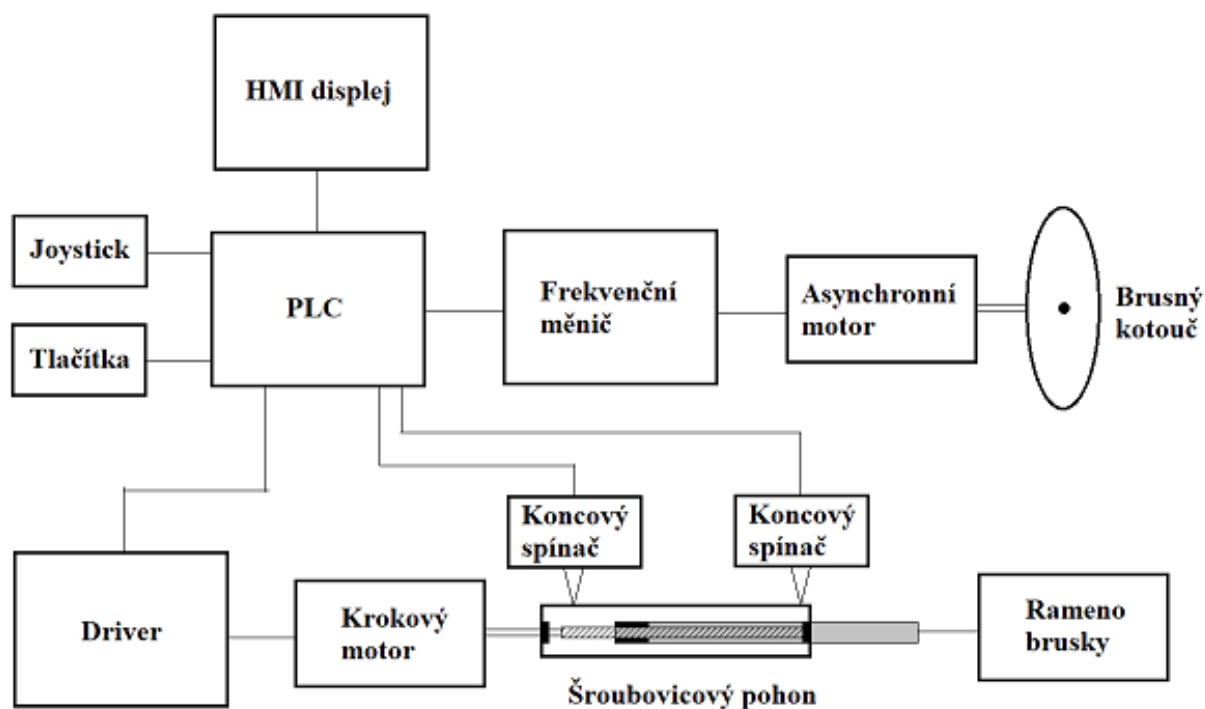
Ukončení procesu broušení a vstup do procesu leštění se provede vychýlením joysticku ve směru vpravo. Zde se na dotykovém displeji nastaví rychlost otáček brusného kotouče a rychlost pohybu brusky pro leštění. Vychýlením joysticku směrem vzad se spustí otáčky kotouče a bruska vykoná pohyb do zadní krajní polohy čepele a zůstane stát. Nyní je brusle správně nabroušena. Vychýlením joysticku vlevo se navrátí režim broušení a dalším vychýlením se přejde do ručního režimu. Stejným způsobem se nabrousí druhá brusle. Parametry broušení se již nemusí nastavovat, protože jsou uchovány z předchozího broušení.



Obr. 2.7 – Požadované funkce joysticku v automatickém režimu

### 2.3.2 Blokové schéma zařízení

Na konstrukci stroje bylo nutné provést úpravy vyplývající z požadavků na ovládání. Stejnoseměrný motor šroubovicového pohonu ramene brusky se nahradil krokovým. Šroubovicový pohon byl doplněn o dva koncové spínače v jeho krajních polohách, jak je patrné na blokovém schématu řídicího systému obr. 2.8. Koncové spínače informují řídicí jednotku o dosažení maximálních poloh brusky a jeden z nich také slouží pro získání referenční polohy brusky. Na bok se upevnil rozváděč s PLC a frekvenčním měničem a vpředu panel s displejem, joystickem a ovládacími tlačítky.



Obr. 2.8 – Blokové schéma řídicího systému

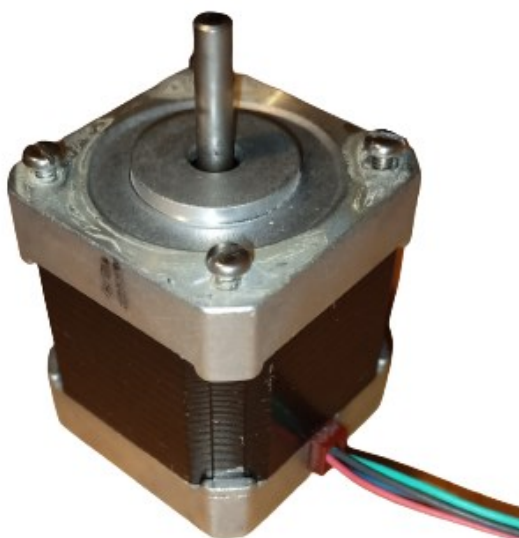
### 2.3.3 Řídicí systém stroje

Zde je uveden postup výběru a vhodnost použití jednotlivých komponent pro vytvoření řídicího systému.

Ovládání stroje brusky vyžaduje, aby se určily meze vzdáleností, ve kterých se bude bruska pohybovat. Je několik možností, jak tento požadavek splnit. Nejjednodušší variantou je osadit pohybové ústrojí brusky koncovými spínači. Když bruska najede na koncový spínač, řídicí jednotka získá informaci, že má zastavit pohyb brusky. Tato varianta je vhodná pro vymezení pevného rozsahu mezí, avšak stroj brusky vyžaduje tuto vzdálenost měnit. Jistým řešením by bylo před broušením koncové spínače přemísťovat do požadované polohy, ale to je časově náročné a mechanicky složité. Z tohoto důvodu se od této varianty upustilo. Dalším návrhem bylo využít optických, indukčních nebo magnetických snímačů. Nicméně zde stále přetrvává nevýhoda v nutnosti měnit polohu těchto snímačů. Nakonec padlo rozhodnutí pro pohon pohybu brusky použít krokový motor. Krajní polohy jsou určeny podle počtu vykonaných kroků motoru. Výhodou je, že není nutné žádnými snímači sledovat polohu brusky. Použity jsou pouze magnetické snímače pro hlídání maximálních havarijních poloh. Jeden z těchto snímačů je použit pro počáteční inicializaci polohy krokového motoru. V případě nedostatečně výkonného motoru by hrozilo nebezpečí tzv. ztráty kroků. V tomto případě by se

musel krokový motor doplnit o inkrementální snímač. Použitý motor má pro posuv brusky dostatečný točivý moment a ztráta kroku nehrozí.

Pro pohyb brusky byl vybrán dvoufázový krokový motor s 200 kroky na jednu otáčku a jmenovitým proudem 1,1 A. Na obr. 2.9 je fotografie tohoto krokového motoru. Výběr krokového motoru se prováděl hlavně na základě jeho rozměrů. Použit byl tento motor, protože měl vhodný průměr hřídele a vešel se do malého prostoru v okolí pohonu. Pokusem se ověřilo, že tento motor je výkonově vyhovující, protože při pohybu brusky nedocházelo ke ztrátám kroků.



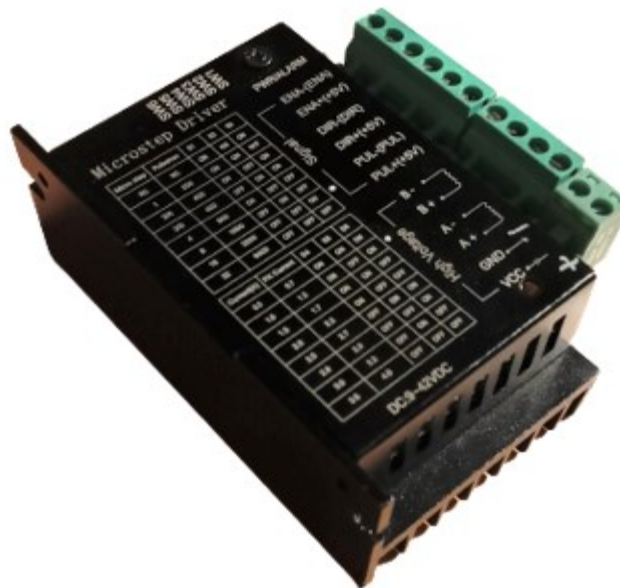
Obr. 2.9 – Krokový motor pohonu brusky

Krokový motor je ovládaný driverem. Nabízí se řešení připojit krokový motor přímo k výstupům řídicí jednotky v podobě programovatelného automatu a ovládat motor napřímo. Výstupy programovatelného automatu nejsou schopné poskytovat danou velikost proudu, a navíc by bylo ovládání motoru obtížné a nepraktické. Pro ovládání motoru byl použit model driveru TB6600. V tab. 2. 1 jsou uvedeny důležité technické parametry.

Tab. 2.1 – Technické parametry krokového motoru

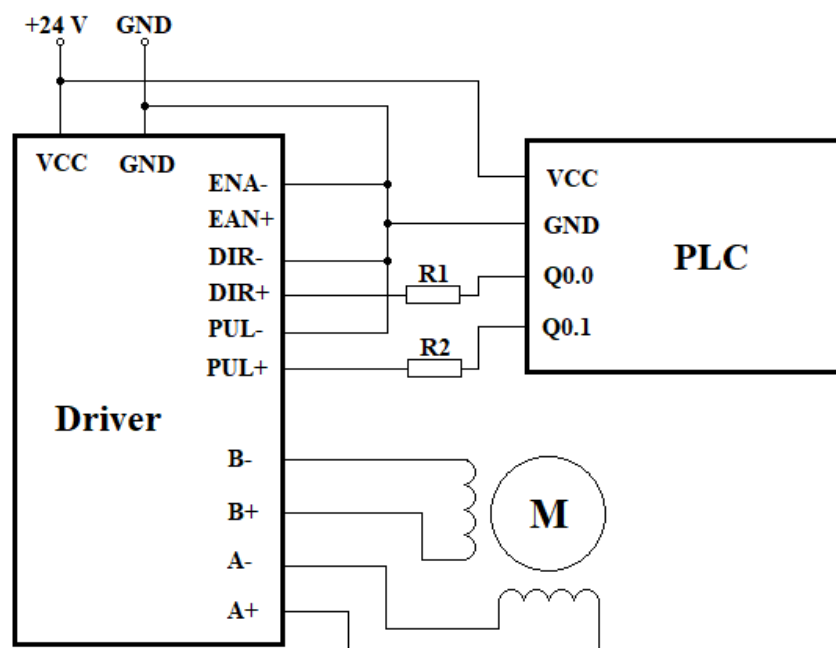
Parametr	Hodnota
Napájecí napětí	9 V až 40 V
Výstupní proud	0,5 A až 4 A
Frekvence PUL signálu	0 Hz až 20 kHz
Vstupní napětí	5 V
Rozlišení mikro-krokování	1 až 32

Driver je ovládán z programovatelného automatu pomocí vstupů označených DIR a PUL. Logická úroveň na vstupu DIR udává směr otáčení hřídele motoru a s příchodem náběžné hrany na vstup PUL motor vykoná pohyb hřídele o jeden krok. Pomocí mikrosplínačů na boku driveru lze zvolit rozlišení mikrokroků a velikost maximálního proudu procházejícího motorem. Klíč pro nastavení hodnoty proudu a mikrokroků se nachází na vrchním krytu driveru, jak je vidět na obr. 2.10. Pokud je nastaven příliš vysoký proud, dochází zbytečně k nadměrnému zahřívání motoru.



Obr. 2.10 – Driver krokového motoru

Na obr. 2.11 je schéma zapojení programovatelného automatu a driveru s motorem. Všechny vstupy jsou uvnitř driveru odděleny optočleny. Rezistory R1 a R2 omezují velikost proudu LED diodami optočlenů. Jejich hodnota odporu je 2,2 k $\Omega$  vzhledem k napájecímu napětí 24 V. Vstup ENA slouží pro odpojení motoru od napájení driverem. V tomto zapojení vstup ENA není využíván.



Obr. 2.11 – Schéma zapojení PLC, driveru a krokového motoru

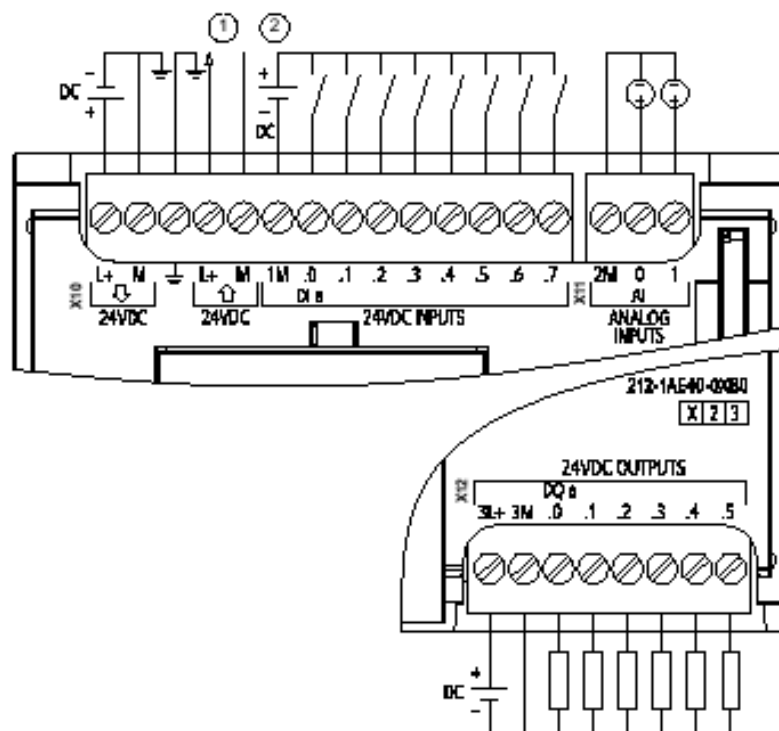
Počátečním návrhem volby řídicí jednotky bylo využití platformy Arduino. Využila by se některá ze základních desek Arduino, pomocí které by se ovládal driver, frekvenční měnič a displej. Na internetu lze najít spoustu knihoven, které by byly pro tento účel vhodné, nicméně se ukázalo, že řešení by bylo nepřehledné pro možné pozdější modifikace. Proto se zvolil programovatelný automat. Programovatelných automatů je celá řada různých velikostí, výpočetních výkonů a od různých výrobců. Uvažovalo se použít systém Mikro PLC LOGO! od firmy Siemens. U tohoto PLC vyvstal problém, že Siemens LOGO! nedokáže spínat výstupní tranzistory s vyšší frekvencí než 10 Hz, jak je patrné z technických parametrů tab. 1.1. Frekvence spínání výstupních tranzistorů určuje rychlost otáčení hřídele krokového motoru.

Definitivní volbou řídicí jednotky bylo kompaktní PLC Siemens S7-1200. Tento programovatelný automat je vhodný pro malé až středně rozsáhlé automatizační úlohy a na řízení stroje brusky je přijatelný. Je zobrazen na obr. 1.1. Programovatelných automatů S7-1200 je více typů. Jednotlivé typy se liší velikostí napájecího napětí, počtem digitálních vstupů, výstupů a jejich formou (tranzistorové, reléové) a velikostí paměti. Pro řízení stroje brusky byl vybrán typ 1212C, který poskytuje dostatečný počet vstupů a výstupů s vysokou hodnotou frekvence jejich spínání a má napájecí napětí 24 V. Napájecí napětí driveru, HMI displeje a PLC budou tedy sjednocená, a proto bude použit pouze jeden zdroj napájení. V tab. 2.2 jsou vybrané základní technické parametry zvoleného typu programovatelného automatu. Využity budou dva výstupy programovatelného automatu pro ovládání krokového motoru a vstupy

budou využity všechny. Do vstupů se připojí tlačítka pro zapnutí a vypnutí brusky, výstupy z joysticku a bezpečnostní koncové spínače. Připojení napájení a periférií ke vstupům a výstupům je zobrazeno na obr. 2.12.

Tab. 2.2 – Technické parametry PLC Siemens S7-1200

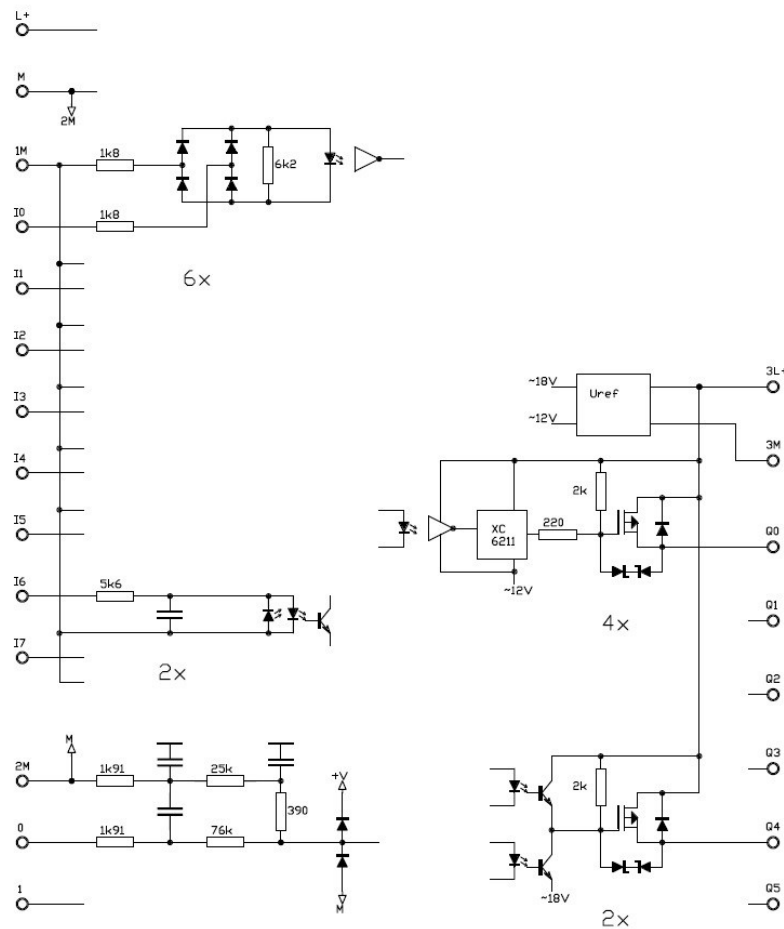
Parametr	Typ 1212C
Velikost pracovní paměti	75 kB
Velikost programové paměti	2 MB
Napájecí stejnosměrné napětí	24 V
Počet analogových vstupů	2
Počet digitálních vstupů	8
Maximální velikost napětí vstupu při log. 0	5 V
Minimální velikost napětí vstupu při log. 1	15 V
Počet výstupů	6
Typ výstupů	tranzistorové
Maximální výstupní proud	0,5 A
Maximální velikost napětí výstupu při log. 0	0,1 V
Minimální velikost napětí výstupu při log. 1	20 V
Maximální spínací frekvence výstupů	100 kHz
Programovací a komunikační protokol	Profinet



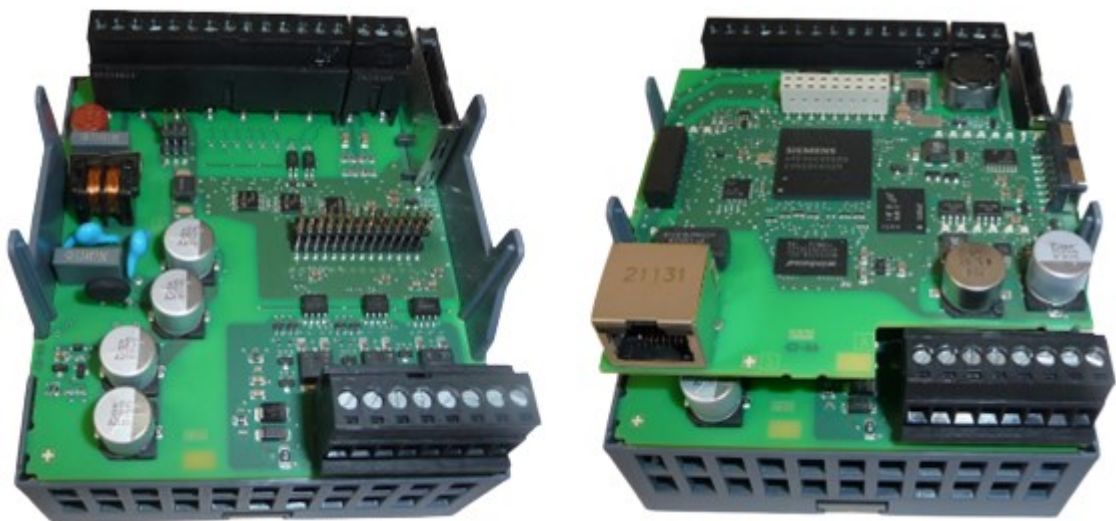
Obr. 2.12 – Schéma připojení napájení a periférií k vývodům PLC (Siemens, s.r.o, 2014)



Protože z dokumentace nebylo úplně zřejmé, jak jsou vstupy a výstupy zapojené, nakreslil jsem funkční schéma obr. 2.13 a nafotil rozložené PLC na obr. 2.14.



Obr. 2.13 – Zjednodušené schéma zapojení vstupů a výstupů PLC



Obr. 2.14 – Rozložené PLC Simatic 1212C

Pro ovládání otáček asynchronního motoru bylo nezbytné použít frekvenční měnič. Podobně jako je na trhu mnoho druhů programovatelných automatů, tak i toto lze říci o frekvenčních měničích. Liší se velikostmi výstupního výkonu, počtem přívodních fází, komunikačními rozhraními atd. Pro pohon brusného kotouče je použit asynchronní třífázový motor o výkonu 250 W. Požadavek byl, aby síťové napájení celého stroje bylo pouze jednofázové, tudíž se hledal nízkovýkonový frekvenční měnič s jednofázovým přívodem.

Způsoby ovládání frekvenčních měničů jsou uvedeny v pododdílu 1.8.3. Řízení stroje vyžadovalo nejen zasílání povelů informací z programovatelného automatu do frekvenčního měniče, ale také i opačným směrem. Z toho důvodu nelze využít jednoduché principy ovládání měniče, jako například pomocí napětového nebo frekvenčního signálu. Byl zvolen standard Profinet, který vychází z technologie Ethernetu. Mohly se použít i jiné komunikační standardy a protokoly, například Modbus nebo Profibus. Nicméně pro komunikaci pomocí těchto standardů by bylo nutné programovatelný automat doplnit o daný rozšiřující modul zprostředkující tuto komunikaci. Programovatelný automat S7-1200 má integrovaný pouze komunikační standard Profinet. Hledaný frekvenční měnič tedy musel disponovat standardem Profinet.

Volba padla na frekvenční měnič Lenze i550. Před jeho objednáním se ukázalo, že dodací lhůta je v současné době příliš dlouhá a od tohoto typu frekvenčního měniče se upustilo. Zvolil se frekvenční měnič FRENIC-Ace s označením FRN0003E2E-7GA od firmy Fuji Electric, který byl v dohledné době dostupný. Základní technické parametry tohoto měniče jsou v tab. 2.3. Měnič je vyobrazen na obr. 2.15.

Tab. 2.3 – Technické parametry frekvenčního měniče

Parametr	Hodnota
Počet vstupních fází	1
Vstupní fázové napětí	200 V až 240 V
Počet výstupních fází	3
Výstupní fázové napětí	200 V až 240 V
Frekvence výstupního napětí	0 Hz až 400 Hz
Výstupní výkon	400 W
Přetížitelnost	150 % po 1 min
Vestavěné komunikační sběrnice	CANOpen, Modbus RTU

Měnič FRENIC-Ace je modulární konstrukce. To znamená, že k základnímu modulu měniče se připojí modul displeje s klávesnicí a komunikační modul. Komunikační modul se volí dle požadované komunikační sběrnice.



Obr. 2.15 – Frekvenční měnič FRENIC-Ace (Amtek, s.r.o., 2018a)

Základní modul frekvenčního měniče podporuje pouze komunikaci pomocí CANOpen a Modbus RTU. Aby bylo možné komunikovat s programovatelným automatem pomocí standardu Profinet, doplnil se frekvenční měnič o kartu s touto funkcí. Základní modul frekvenčního měniče podporuje pouze komunikaci pomocí CANOpen a Modbus RTU. Na obr. 2.16 je multiprotokolová komunikační karta na bázi Ethernetu. Toto komunikační karta se umísťuje do prostoru pod modulem displeje.



Obr. 2.16 – Rozšiřující multiprotokolová komunikační karta (Amtek, s.r.o., 2018b)

Pro ovládání stroje brusky se kromě joysticku a tlačítek použil také barevný dotykový HMI displej určený pro průmyslové využití. Jedná se o displej s označením KTP400 Basic od stejné firmy jako programovatelný automat. Tento displej je na obr. 2.17. Vyroben je

v provedení, které umožňuje snadnou instalaci do panelu stroje. Mimo dotykové obrazovky s úhlopříčkou 10,9 cm jsou na panelu umístěna také čtyři tlačítka. Zařízení KTP400 Basic není pouhou zobrazovací jednotkou, ale obsahuje paměť a mikroprocesorové řízení. Konfigurace a tvorba zobrazovaných prvků na displeji se vytváří v počítačové aplikaci TIA Portal a pomocí ethernetového kabelu se nahraje do paměti panelu. Komunikace mezi displejem a programovatelným automatem probíhá také po ethernetovém kabelu. Pro správnou činnost je důležité, aby program v programovatelném automatu i HMI displeji byly ve vzájemné součinnosti. V tab. 2.4 jsou základní technické parametry HMI displeje.

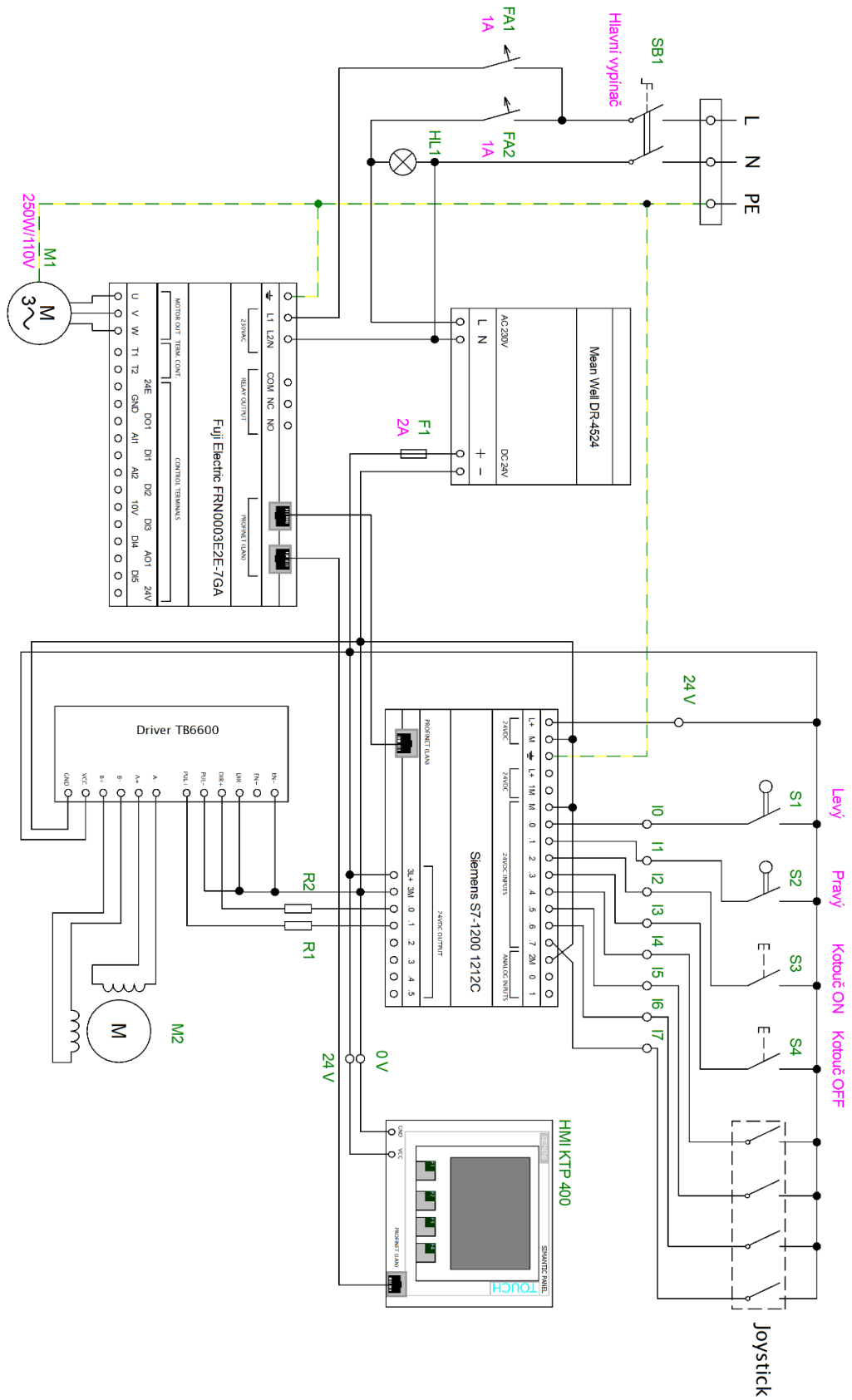
Tab. 2.4 – Technické parametry HMI displeje

Parametr	Typ KTP400 Basic
Typ displeje	barevný, dotykový TFT displej
Úhlopříčka obrazovky	109 mm
Rozlišení obrazovky	480 × 272
Počet tlačítek	4
Napájecí stejnosměrné napětí	24 V
Napájecí proud	125 mA
Vestavěné komunikační sběrnice a protokoly	USB, Průmyslový Ethernet, Profinet, Modbus
Rozměry pro umístění do panelu	123 mm × 99 mm



Obr. 2.17 – HMI displej Siemens KTP400 Basic (Siemens, s.r.o., 2020c)

Na obr. 2.18 je elektrické schéma konečné realizace řídicího systému.



Obr. 2.18 – Schéma zapojení řídicího systému

Všechny prvky systému se umístily do plechové rozváděčové skříňky velikosti 600 × 600 mm na dvě pod sebou umístěné DIN lišty. Rozváděč je na obr. 2.19. Na horní liště rozváděče je nainstalovaný frekvenční měnič, spínaný napájecí zdroj, PLC a driver krokového motoru. Spodní lišta obsahuje pojistky a svorky pro připojení napájení a vodičů propojující vstupy PLC a ovládací panel, který je na obr. 2.20. Vodiče uvnitř rozváděče jsou vedené v plastových žlabech. Každý vodič je označen žlutou návlečkou s popisem. Na ovládacím panelu je umístěný HMI displej, joystick, tlačítka pro zapínání a vypínání kotouče a stop tlačítko pro nouzové vypnutí celého stroje. Rozváděč byl umístěn na boku stroje a ovládací panel v přední části stroje.



Obr. 2.19 – Zapojení rozvaděče

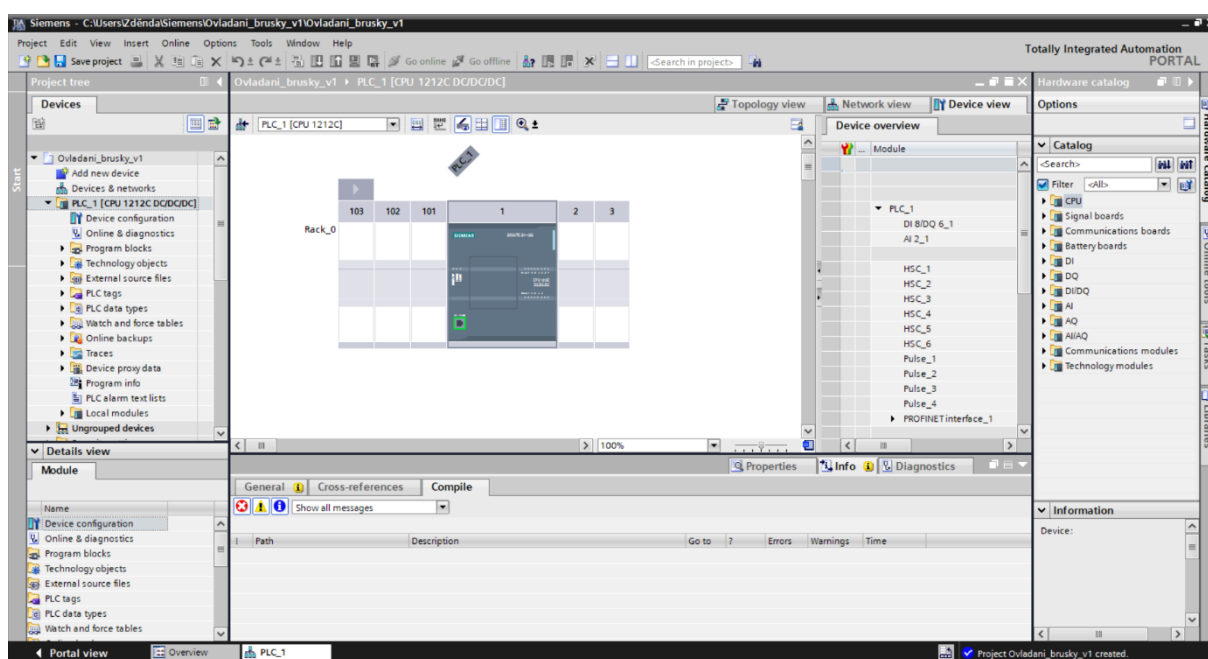


Obr. 2.20 – Ovládací panel

## 2.3.4 SW v PLC

V této části textu je uveden veškerý softwarový návrh, který bylo nutné vytvořit pro automatizovaný systém stroje brusky. Návrh probíhal z velké části ve vývojovém prostředí aplikace TIA Portal od firmy Siemens. Tento software je určen pro vývoj a simulaci aplikačních programů PLC, základních HMI displejů a pohonů od firmy Siemens. Výhodou TIA Portalu je jednotné a všestranné prostředí pro konfiguraci těchto prvků.

Na počátku softwarového návrhu bylo nutné ve vývojovém prostředí TIA Portal založit nový projekt a přidat do něho požadované typy PLC, HMI displeje a komunikační karty frekvenčního měniče. Na úvodní obrazovce vývojového prostředí se uvede název a umístění nového projektu v souborovém systému počítače. Po vytvoření nového projektu se zobrazí obrazovka se seznamem jednotlivých typů PLC a HMI displejů. Zde je nutné ze seznamu vybrat a vložit požadovaný typ PLC do projektu. V případě PLC Siemens S7-1200 je typ PLC uveden pod výklopným krytem výstupů. Kliknutím na vybraný typ PLC se obrazovka přepne do portálového pohledu, jak je vyobrazeno na obr. 2.21.

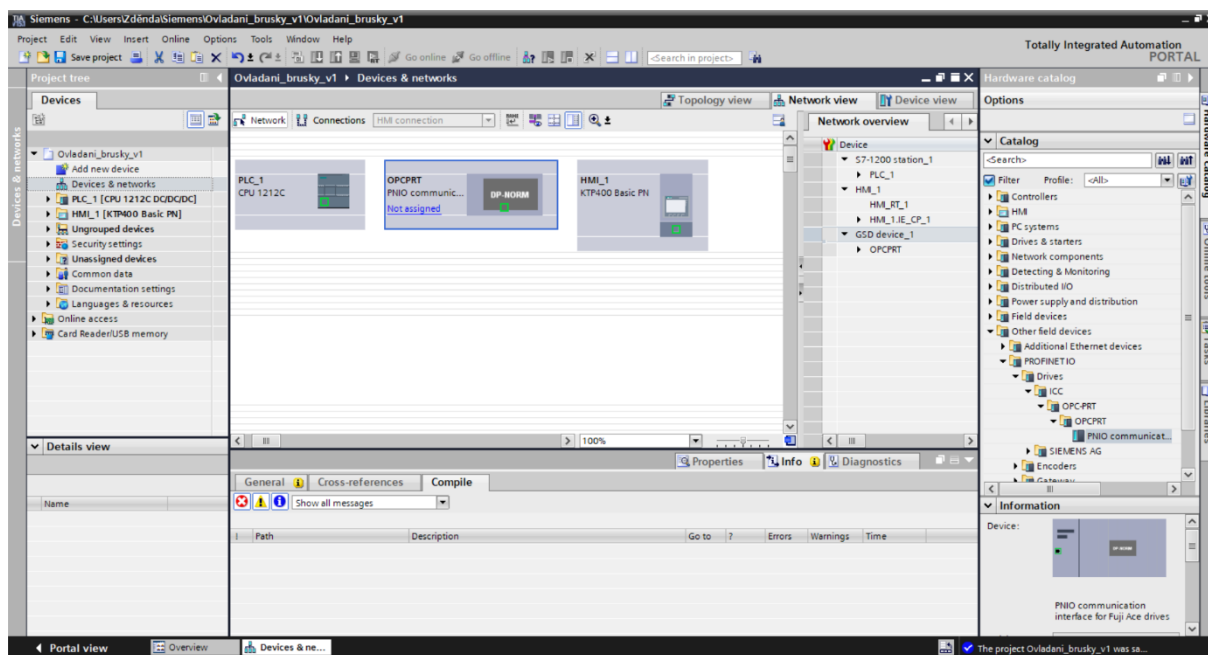


Obr. 2.21 – Portálový vzhled obrazovky vývojového prostředí

Zbývá do projektu vložit HMI displej a kartu frekvenčního měniče. Klikne se na položku Devices & networks v okně Project tree. Na pravé straně obrazovky se otevře okno Hardware catalog a v něm se klikne na položku HMI a přetažením daného typu HMI displeje se vloží do projektu. Komunikační karta frekvenčního měniče není výrobkem firmy Siemens jako vývojové prostředí, a proto typ karty nelze vyhledat z integrovaného seznamu hardwaru.



Z tohoto důvodu bylo nezbytné do vývojového prostředí doinstalovat GSD soubor. Jedná se o konfigurační soubor, který popisuje komunikační vlastnosti zařízení v síti Profinet. Po nainstalování GSD souboru staženého z webových stránek výrobce daného frekvenčního měniče bude vývojové prostředí rozumět vlastnostem a funkcím této karty. GSD soubory se instalují pomocí nabídky v horní části vývojového prostředí kliknutím na Options a vybráním položky Manage general station description files. Otevře se okno, kde se vybere umístění GSD souboru v souborovém systému. Kliknutím na tlačítko Install se provede instalace a potom již lze vyhledat a vložit typ dané komunikační karty z okna Hardware catalog do projektu. Na obr. 2.22 je obrazovka vývojového prostředí TIA Portal, kde je v projektu vloženo PLC, HMI displej a komunikační karta frekvenčního měniče v okně Network view. Kliknutím na komunikační kartu měniče s názvem OPCPRT a přepnutím se do okna Device view je nezbytné nastavit délku telegramu komunikace mezi frekvenčním měničem a PLC v síti Profinet. Podle počtu využívaných parametrů frekvenčního měniče se zvolil telegram s délkou 4/4 wordů. To znamená, že každý telegram obsahuje čtyři parametry z PLC do měniče a čtyři parametry z měniče do PLC. Parametr má délku 16 bytů.

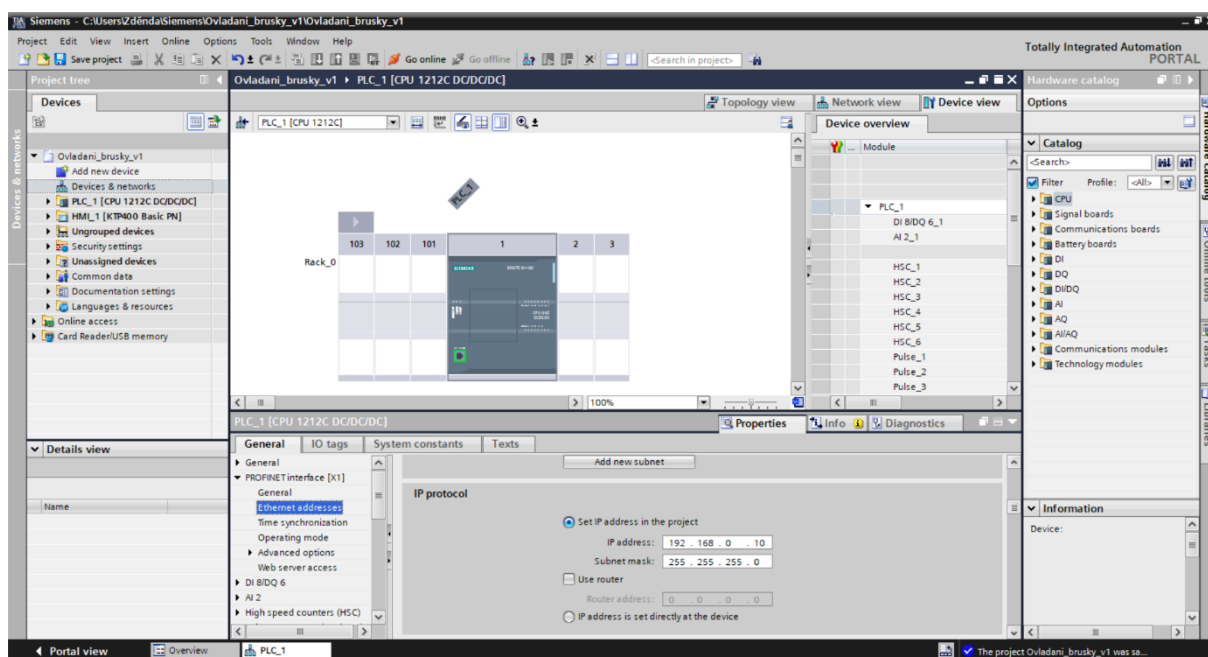


Obr. 2.22 – Obrazovka vývojového prostředí s vloženými komponentami

Konfigurace, nahrávání nebo stahování programů z PLC, HMI displeje nebo frekvenčního měniče do počítače se provádí pomocí propojení ethernetovým kabelem.

Předtím, než se přejde k vytvoření zapojení jednotlivých prvků do sítě, provede se nastavení IP adres všech zařízení. Každé zařízení v síti musí mít jedinečnou IP adresu. Pro

nastavení IP adresy se dvakrát klikne na dané zařízení a otevře se karta Properties. Kliknutím na položku Ethernet addresses lze nastavit IP adresu zařízení, jak je na obr. 2.23 pro případ PLC. Skutečná IP adresa zařízení může být odlišná, pak je nezbytné zapojit zařízení k počítači ethernetovým kabelem a kliknout na položku Online & diagnostics v okně Project tree a přiřadit zařízení stejnou IP adresu, jako je v předešlém nastavení. Tímto způsobem se nastaví IP adresy všem zařízením. V tab. 2.5 jsou IP adresy daných zařízení.



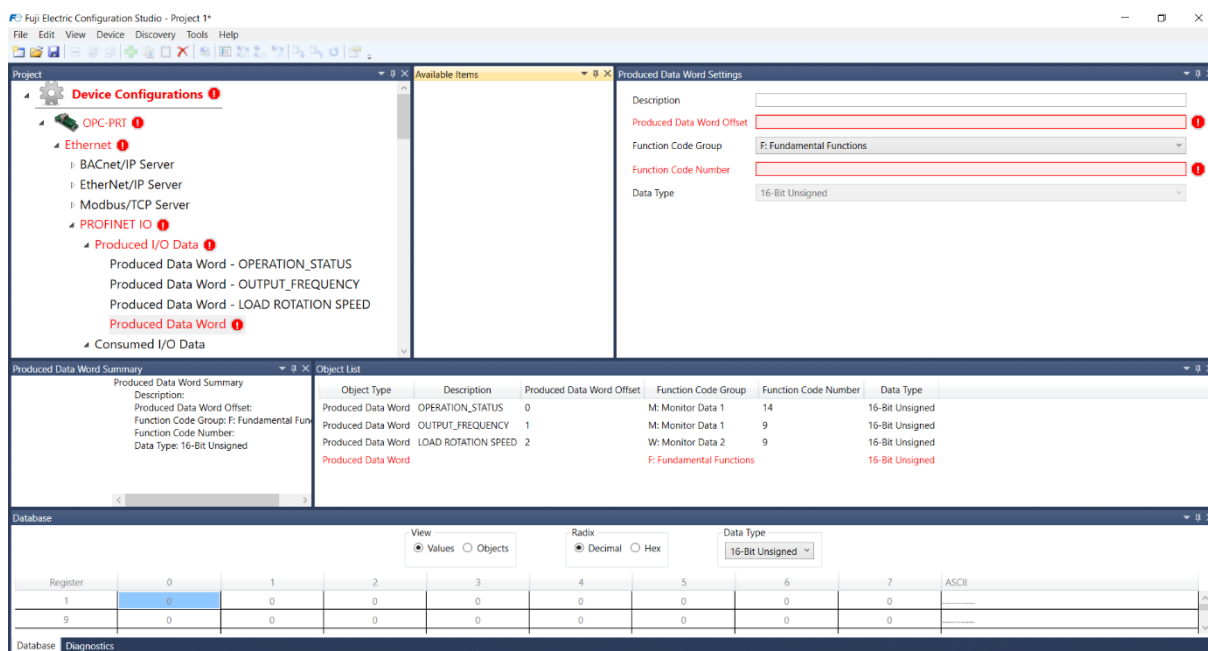
Obr. 2.23 – Obrazovka vývojového prostředí pro nastavení IP adresy PLC

Tab. 2.5 – IP adresy zařízení

Zařízení	IP adresa
PLC Siemens S7-1200	192.168.0.10
HMI displej KTP400 Basic	192.168.0.20
Frekvenční měnič Frenic-Ace	192.168.0.30

Konfigurace frekvenčního měniče zahrnuje mimo přiřazení IP adresy, také výběr parametrů měniče, které budou komunikovány s PLC. K této činnosti slouží aplikace Fuji Electric Configuration Studio. Komunikační karta měniče se připojí k počítači pomocí USB kabelu a v konfigurační aplikaci se zobrazí ikona Online Devices s názvem konkrétní komunikační karty. Kliknutím na název karty se zobrazí několik položek komunikačních standardů. Pro komunikaci s PLC se vybral standard Profinet. Sdílené parametry se rozlišují na skupinu parametrů (Consumed I/O data), které jsou přijaté z PLC a skupinu parametrů (Produced I/O data), které jsou odeslané do PLC. Toto rozdělení parametrů je patrné

v konfiguračním programu Electric Configuration Studio na obr. 2.24. Pro přidání nového sdíleného parametru se v konfiguračním programu uvede číslo pořadí, ve kterém jsou parametry odesílány nebo přijímány a jeho funkční kód, například F04. Funkční kód parametru definuje jeho význam. Popis a vlastnosti jednotlivých parametrů pod danými funkčními kódy jsou podrobně uvedeny v datovém listu frekvenčního měniče. Na obr. 2.23 v programu Electric Configuration Studio okně Produced Data Word Settings je příklad vložení nového parametru.



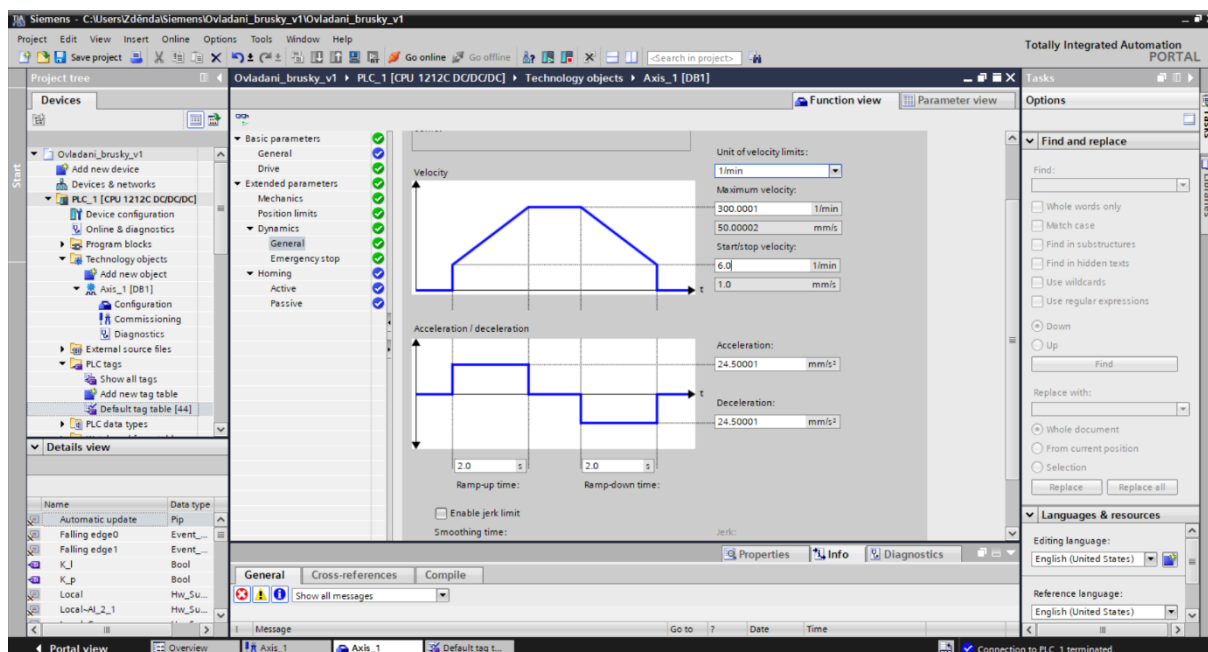
Obr. 2.24 – Obrazovka programu Electric Configuration Studio

Tab. 2.6 – Parametry měniče zahrnuté do komunikace

Skupina parametru	Funkční kód	Číslo pořadí	Popis
Přijaté měničem	S06	0	Obsahuje bity ovládající spouštění motoru, jeho směru a další bity.
	S05	1	Hodnota parametru ovládá požadovanou frekvenci napájení motoru.
	S19	2	Hodnota parametru ovládá požadovanou rychlost otáček motoru.
Odeslané měničem	M14	0	Obsahuje stavové bity směru otáčení a dosažení rychlosti daných otáček.
	M9	1	Hodnota parametru udává skutečnou výstupní frekvenci napájení motoru.
	W9	2	Hodnota parametru udává skutečnou rychlost otáček motoru.

Pro komunikace mezi PLC a frekvenčním měničem není využito všech šest parametrů, ale přednostně se využívají parametry pracující přímo s rychlostí otáček motoru, nikoli s frekvencí jeho napájení. Parametry posílané do frekvenčního měniče dávají příkaz pro spuštění motoru, směr pohybu atd. Frekvenční měnič, pak odesílá do PLC skutečné naměřené parametry rychlosti otáček motoru a stavů motoru. V tab. 2.6 jsou uvedeny parametry měniče, které se účastní komunikace. Pro dokončení konfigurace vzájemné komunikace jednotlivých komponentů je nezbytné ve vývojovém prostředí TIA Portal vyznačit jejich propojení.

Ovládání driveru krokového motoru probíhá pomocí impulsů z výstupů PLC přiváděných do driveru. K tomuto účelu se s výhodou použila knihovna s názvem Motion Control integrovaná přímo ve vývojovém prostředí. Tato knihovna je určena pro řízení driverů signály STEP/DIR, frekvenčních měničů ovládaných analogovým signálem nebo pohonů Siemens Sinamics s komunikací PROFIdrive. Řízení pohonů se ve vývojovém prostředí vytváří v podobě technologického objektu lineární osy. V okně Project tree vývojového prostředí kliknutím na položku Add new object se otevře nové okno, kde se zvolí knihovna Motion Control pro vložení nové lineární osy. Nyní se přejde k nastavení parametrů lineární osy položkou Configuration. Počáteční konfigurací je volba signálů pro ovládání driveru. Vzhledem k použitému driveru se zvolí ovládání pomocí digitálních výstupů. Výstup s adresou %Q0.1 ovládá rychlost a druhý výstup na adrese %Q0.0 ovládá směr motoru. Následuje zadání počtu impulsů, které vykonají jednu otáčku krokového motoru a velikost posuvu odpovídající jedné otáčky motoru. Z těchto hodnot se bude vypočítávat aktuální poloha pohonu brusky. Dalším nastavením je možnost zvolit ohraničení úseku pohybu po lineární ose mechanickými koncovými spínači nebo softwarovým odměřením. Tato možnost byla využita pouze pro mechanické koncové spínače, které jsou na stroji brusky umístěny. Ukázalo se, že softwarové hlídání krajních poloh lineární osy je nevhodné, protože po překročení limitu se osa zablokuje. PLC obsahuje vlastní programovou rutinu ošetřující krajní polohy osy, kterou ovšem nelze ve vývojovém prostředí nijak upravovat. Následuje nastavení dynamiky rychlosti pohybu pohonu. Na obr. 2.25 je okno vývojového prostředí s tímto nastavením. Určí se maximální a minimální rychlost otáček motoru za minutu. Je vhodné nastavit maximální rychlost otáček podle skutečného krokového motoru na hodnotu, kde ještě nedochází ke ztrátám kroků. Velikost točivého momentu hřídele motoru klesá s narůstajícími otáčkami. Dále se nastaví čas rovnoměrného zrychlování z minimálních otáček na maximální otáčky. Tímto nastavením se omezí velikost záskmitů pohonu při rozjezdu a zastavení. Posledními položkami v nastavení osy je určení nouzového zpomalení a způsob nastavení referenční polohy osy.



Obr. 2.25 – Obrazovka vývojového prostředí nastavení dynamiky pohonu

Touto konfigurací lineární osy a vytvoření komunikačního spojení PLC, frekvenčního měniče a HMI displeje byl projekt připraven k tvorbě programu PLC a HMI displeje. Tab. 2.7 je popis připojení ovládacích prvků stroje brusky ke vstupům PLC. V tab. 2.8 je popis připojení výstupů PLC ke vstupům driveru krokového motoru.

Tab. 2.7 – Zapojení vstupů PLC

Ovládací prvek		Vstupy PLC	
Součástka	Popis	Označení svorky	Adresa vstupu
Koncové spínače	Levý koncový spínač	DI a.0	%I0.0
	Pravý koncový spínač	DI a.1	%I0.1
Tlačítka spouštění brusky	Start otáčení kotouče	DI a.2	%I0.2
	Stop otáčení kotouče	DI a.3	%I0.3
Joystick	Směr doleva	DI a.4	%I0.4
	Směr doprava	DI a.5	%I0.5
	Směr vpřed	DI a.6	%I0.6
	Směr vzad	DI a.7	%I0.7

Tab. 2.8 – Zapojení výstupů PLC

Vstupy driveru	Výstupy PLC	
Označení svorky	Označení svorky	Adresa výstupu
DIR+	DQ a.0	%Q0.0
PUL+	DQ a.1	%Q0.1

HMI displej použitý pro ovládání brusky slouží pro zadávání parametrů a zobrazování stavů stroje brusky. Na obr. 2.26 je zobrazení obrazovky po spuštění stroje. V té chvíli se bruska pohybuje ke koncovému spínači pro kalibraci polohy posuvu. Na displeji se zobrazuje žlutý výstražný znak doplněný o nápis „probíhá kalibrace“, který se po získání referenční polohy změní na zelený znak potvrzující provedenou kalibraci polohy, jak je patrné na obr. 2.27.



Obr. 2.26 – Obrazovka HMI displeje po spuštění stroje

Nyní se na displeji zobrazí aktuální poloha brusky. Pomocí joysticku lze s bruskou pohybovat po čepeli brusle a nastavit koncové polohy broušení, jejichž hodnota se zobrazí na displeji pro pravý a levý konec brusle. Spouštění otáčení kotouče brusky se provádí tlačítky na panelu stroje. Rychlost otáček kotouče se nastavuje na displeji dotykem na jejich zobrazenou hodnotu a zadáním nové hodnoty ze zobrazené klávesnice. Pro rychlejší nastavení rychlosti otáček kotouče jsou na displeji dvě tlačítka se znakem šipky. Dotykem na tyto tlačítka se hodnota rychlosti otáček kotouče sníží nebo zvýší o hodnotu 100.



Obr. 2.27 – Obrazovka HMI displeje signalizující provedení kalibrace

Po vstupu do automatického režimu broušení se zobrazí obrazovka displeje na obr. 2.28. Na této obrazovce se zprvu nastavuje počet požadovaných brusných cyklů. Jeden brusný cyklus znamená pohyb brusky vpřed a zpět. Dotykem na hodnotu požadovaných brusných cyklů se opět zobrazí klávesnice, na které se zadá počet cyklů. Textové pole vpravo od hodnoty požadovaného počtu cyklů zobrazuje skutečnou hodnotu již vykonaných brusných cyklů. V dalším textovém poli se zadává rychlost pohybu brusky při broušení brusle ve směru vpřed. Hodnota této rychlosti se volí nižší než hodnota rychlosti pohybu brusky při broušení brusle ve směru vzad, která se zadává do dalšího textového pole. Do posledního textového pole se zadává rychlost otáček brusného kotouče. Podobně, jako na předchozí obrazovce displeje, i zde jsou dvě tlačítka se znaky šipek urychlující nastavení rychlosti otáček kotouče.

Po vykonání daného počtu brusných cyklů se broušení zastaví a obsluha pomocí joysticku spustí závěrečné leštění bruslí. Obrazovka tohoto procesu je na obr. 2.29. Zde se nastavuje rychlost pohybu leštění, které probíhá pouze ve směru vpřed. Při pohybu brusky vzad jsou otáčky brusky vypnuté a rychlost pohybu se nastavuje v prostředním textovém poli. Rychlost otáček brusného kouče při leštění čepele brusle se nastavuje stejným způsobem jako na předchozích obrazovkách.



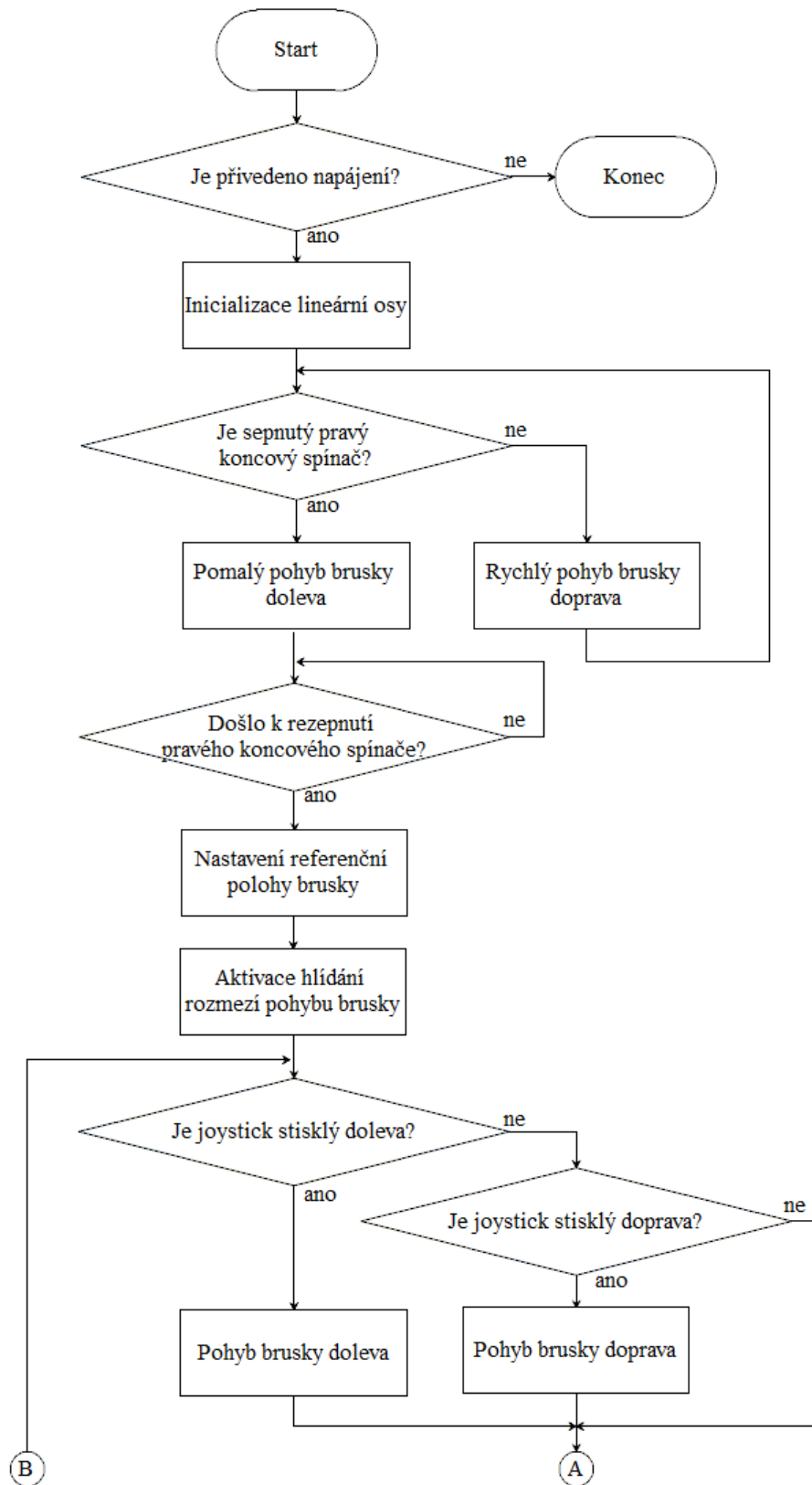
Obr. 2.28 – Obrazovka HMI displeje automatického režimu broušení



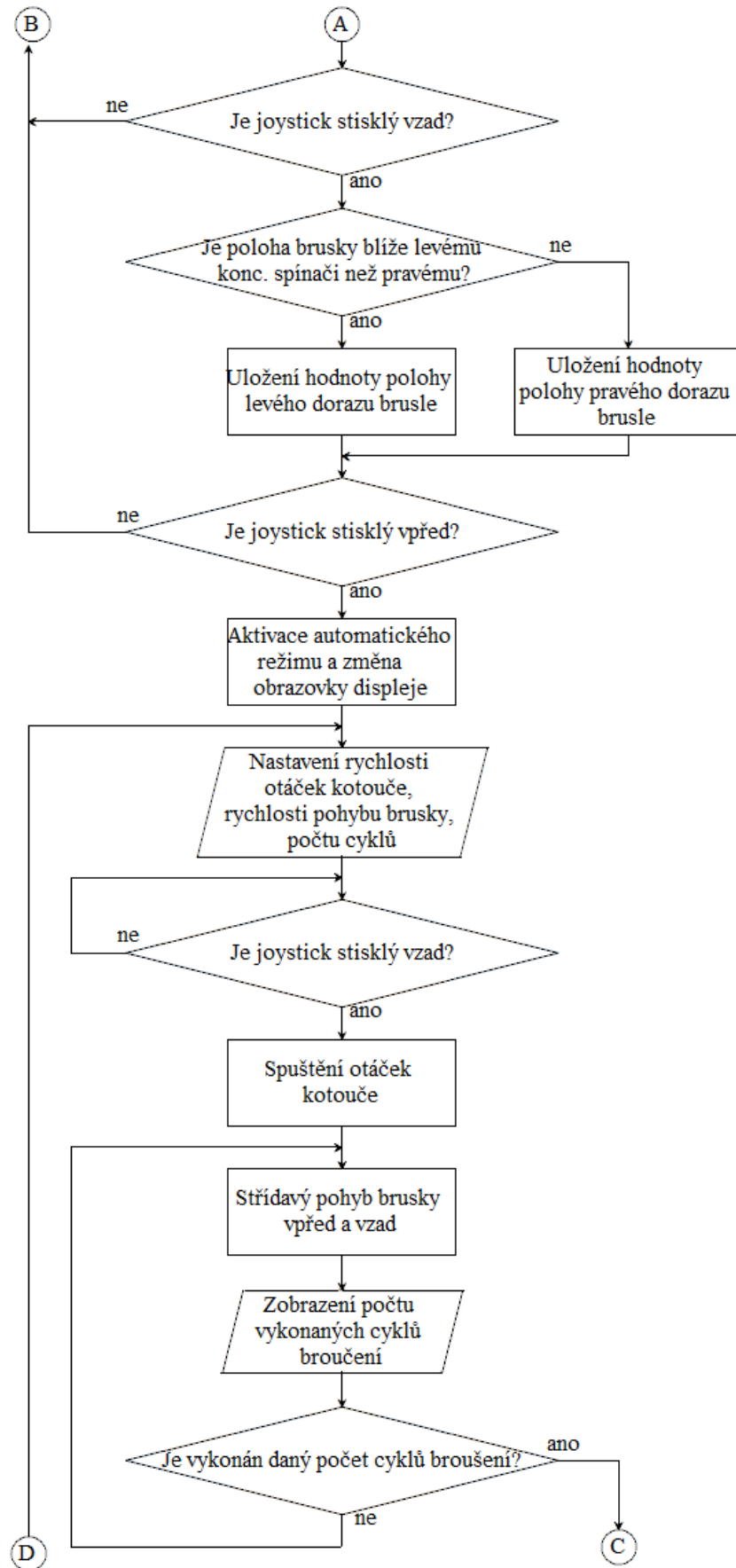
Obr. 2.29 – Obrazovka HMI displeje procesu leštění



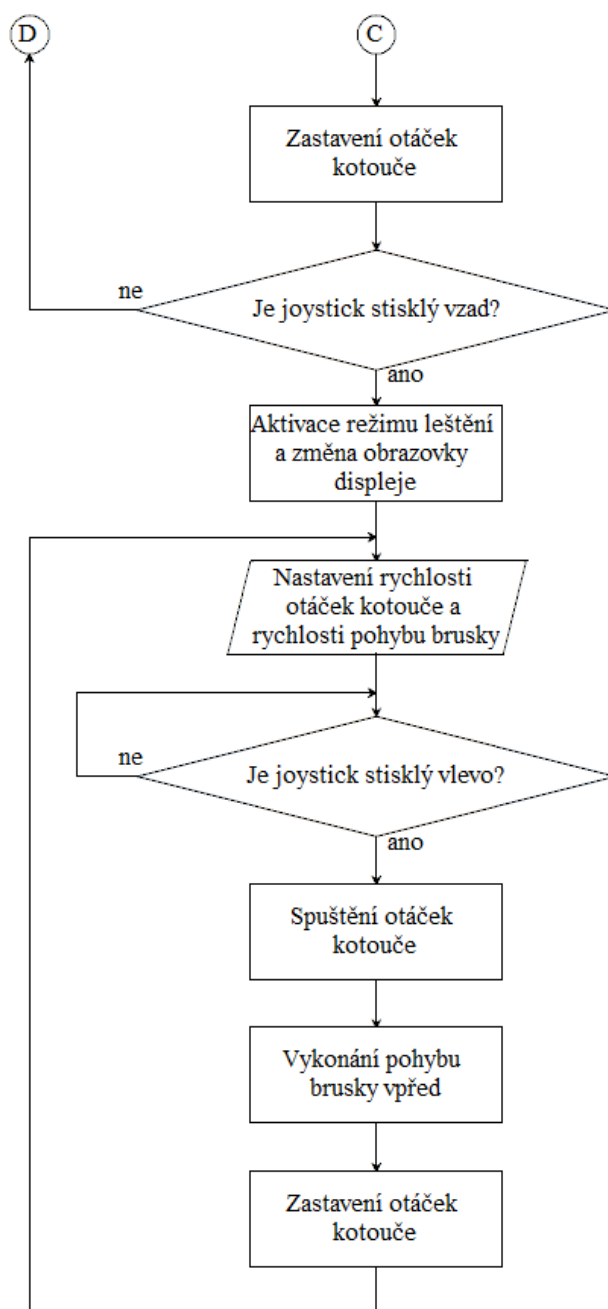
Na obr. 2.30 až obr. 2.32 je vývojový diagram programu PLC. Vývojový diagram začíná popisem získání referenční polohy brusky a pak následují jednotlivé režimy broušení.



Obr. 2.30 – Vývojový diagram programu PLC, 1. část



Obr. 2.31 – Vývojový diagram programu PLC, 2. část



Obr. 2.32 – Vývojový diagram programu PLC, 3. část

PLC ovládá frekvenční měnič, driver a HMI displej. Program pro PLC je vytvořen v grafickém programovacím jazyku LD. Tento jazyk byl zvolen z důvodu vytvoření přehledného programu vzhledem k rozsahu automatizační úlohy. Založení nového programu se provede kliknutím na položku Program blocks v okně Project tree vývojového prostředí. Program pro ovládání stroje brusky je strukturován na hlavní program (ve vývojovém prostředí TIA Portal tzv. hlavní organizační blok OB) a jednotlivé podprogramy označované jako funkční bloky FB. Hlavní organizační blok je po spuštění PLC cyklicky vykonáván.

Po spuštění PLC se začne vykonávat funkční blok s názvem Vychodi\_poloha. V tomto funkčním bloku se nejprve inicializuje programová lineární osa pomocí funkce MC\_Power z knihovny Motion Control. Pokud je lineární osa inicializovaná a připravena k použití, spustí se pohyb brusky směrem ke koncovému spínači pro stanovení její referenční polohy. Část programu, která zpracovává tuto úlohu, je v síti Network 2 funkčního bloku. Funkce MOVE přesouvají žádané hodnoty rychlosti pohybu brusky z proměnných na vstupu funkce do parametru, který přímo určuje rychlost pohybu brusky. Když bruska sepne koncový spínač, zpomalí svůj pohyb až do zastavení a pak dojde k obrácení směru pohybu s nižší rychlostí. Při tom se detekuje rozepnutí koncového spínače. Tuto detekci a stanovení referenční polohy vytváří funkce MC\_Home v síti Network 4. Po rozepnutí koncového spínače funkce nastaví do parametru lineární osy ActualPosition hodnotu 0 a zároveň deaktivuje funkci MC\_MoveJog, která prováděla pohyby brusky při navádění na referenční polohu. Následně se bruska přesune do polohy 20 pomocí funkce MC\_MoveAbsolute a aktivuje se hlídání maximálního rozsahu pohybu brusky koncovými spínači parametrem PositionLimits\_HW.Active. Pokud by nyní bruska najela na některý koncový spínač, dojde k zastavení pohybu s nouzovým zastavením.

Stanovením referenční polohy se nastaví výstupní proměnná funkčního bloku Vychodi\_poloha, která směřuje do hlavního programu do sítě Network 2, kde uvede v činnost funkční blok Nastaveni\_dorazu. Zde je část programu, která zajišťuje přepínání mezi jednotlivými podprogramy a tím přepínání mezi režimy broušení. Na začátku funkčního bloku Nastaveni\_dorazu jsou nastavené maximální krajní polohy lineární osy. V případě, že se bruska dostane za mezní polohu, dojde k jejímu zastavení, podobně jako u koncových spínačů. Na vstupy funkce MC\_MoveJog jsou připojeny kontakty z joysticku, které jsou vzájemně blokované. Například pokud je sepnutý kontakt pro směr vlevo, větev zajišťující směr pohybu vpravo je rozpojená. V síti Network 2 se provádí ukládání aktuální polohy brusky do proměnných dorazů brusle. Pokud obsluha brusky stiskne joystick směrem dolů (požadavek pro uložení polohy dorazu brusky), tak podle toho, zda se bruska nachází v levé nebo pravé polovině lineární osy, se uloží aktuální hodnota polohy do proměnné levého dorazu doraz\_brusle\_L nebo proměnné pravého dorazu doraz\_brusle\_P.

V síti Network 1 funkčního bloku Automaticke\_brouseni se provádí korektní roztočení brusného kotouče na požadovanou hodnotu otáček za minutu. Pokud obsluha brusky po přepnutí do automatického režimu broušení stiskem joysticku ve směru doleva spustí automatické broušení, funkce MOVE pošle hodnotu požadované rychlosti nastavené z HMI displeje do frekvenčního měniče společně s požadavkem na směr otáčení kotouče. Poté se program PLC cyklicky dotazuje frekvenčního měniče, zda probíhá otáčení brusného kotouče a

zároveň jeho akcelerace. Po roztočení brusného kotouče na žádané otáčky se spustí pohyb brusky. V síti Network 2 je vytvořeno předčasné ukončení automatického broušení. Síť Network 3 zajišťuje střídavý pohyb brusky mezi nastavenými dorazy brusle funkcemi MC\_MoveAbsolute. S každým dojezdem do pravé krajní polohy brusle se pomocí vstupu CU čítače CTU inkrementuje jeho hodnota. Hodnota čítače, při které se aktivuje výstup Q, je dána hodnotou předvolby na vstupu PV. Druhý výstup CV udává aktuální hodnotu čítače. Program v síti Network 4 ošetřuje, aby nebylo možné obsluhou přepnout brusku do jiného režimu během provádění automatického broušení.

Posledním funkčním blokem programu je blok Lesteni. V síti Network 1 se provádí spuštění režimu leštění čepele brusle a návrat brusky do počáteční polohy. Pokud obsluha brusky stiskne joystick ve směru dolů a zároveň se bruska nachází v poloze pravého krajního dorazu brusle, spustí se podobným způsobem opět otáčení brusného kotouče jako v režimu automatického broušení. V síti Network 2 funkce MC\_MoveAbsolute pohybuje brusku do levého krajního dorazu brusle. Ve chvíli, kdy bruska dosáhne této polohy, program PLC vyšle požadavek do frekvenčního měniče pro zastavení otáček brusného kotouče a nastaví proměnnou lesteni\_provedeno. Když je tato proměnná nastavena, tak s příchodem náběžné hrany stisku joysticku se v síti Network 3 provede zpětný pohyb do polohy lineární osy s hodnotou 20. Tímto je leštění ukončeno.

V hlavním programu v síti Network 3 je řešeno přepínání obrazovek HMI displeje. Podle toho, který funkční blok je právě aktivní, se funkcí MOVE přesune číslo příslušné obrazovky do proměnné obrazovka\_cislo. Pokud je číslice obrazovky shodná s číslicí v této proměnné, dojde k zobrazení obrazovky. V síti Network 4 je řešeno nezávislé zapínání a vypínání otáčení kotouče brusky. Zde je ošetřeno, aby nebylo možné spustit brusku, pokud se nachází v poloze mezi dorazy brusle.

### 3 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat řídicí systém stávajícího stroje brusky ledních bruslí. Jednalo se o vytvoření automatického řízení stroje, který se doposud ovládal manuálně pomocí několika tlačítek. Aplikací automatického řízení stroje brusky se očekávalo zvýšení kvality broušení čepelí bruslí a snížení závislosti stroje na jeho obsluze. Tento požadavek se povedlo naplnit.

Automatizovaný stroj brusky pracuje podle očekávání. Při výběru vhodného krokového motoru pro ovládání pohybu brusky a jeho testováním se došlo k závěru, že není nutné pomocí zpětné vazby ověřovat skutečnou polohu brusky snímačem v podobě rotačního enkodéru, protože i při značném zatížení brusky nedochází ke ztrátě kroků motoru. Ukázalo se, že by bylo v budoucnu vhodné doplnit HMI displej o obrazovku, kde by bylo shrnuto veškeré nastavení důležitých parametrů lineární osy a frekvenčního měniče, aby nebylo nutné tyto parametry měnit z vývojového prostředí TIA Portal připojeného k řídicímu systému.

## POUŽITÁ LITERATURA

- Amtek, s.r.o. 2018a. *FRN0003E2E-7GA Frekvenční měnič Fuji Electric FRENIC Ace, s PLC, 4-mi režimy zatížení a širokou použitelností*. [online]. [cit. 5. 3. 2022]. Dostupné z: <https://www.amtek.cz/frenic-ace/frekvencni-menic-fuji-electric-frenic-ace-s-plc-s684705899:parametry#tabs-info>
- Amtek, s.r.o. 2018b. *Fuji Electric FRENIC-Ace (FRN-E2) – ukázky*. [online]. [cit. 5. 3. 2022]. Dostupné z: <https://www.amtek.cz/frenic-ace/#c956>
- BABČANÍK, J. 2007. *Spínané zdroje*. [online]. [cit. 16. 3. 2022]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/spinane-zdroje.html>
- BENEŠ, P aj. 2005. *Automatizace a automatizační technika 3: Prostředky automatizační techniky*. Brno: CP Books, a.s. 280 s. ISBN 80-251-0795-7
- Electrical Academia. 2018. *Stepper motor types and working*. [online]. [cit. 8. 3. 2022]. Dostupné z: <https://electricalacademia.com/synchronous-machines/stepper-motor-types-working/>
- Elektronická učebnice. 2014. *Krokový motor*. [online]. [cit. 15. 3. 2022]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/809>
- HAMMERBAUER, J. 1998. *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory*. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity. 181 s. ISBN: 80-7082-411-5
- HANSEN, D. 2015. *Programmable Logic Controllers: A Practical Approach to IEC 61131-3 using CODESYS*. Wiley & Sons. 416 s. ISBN 978-1-118-94924-5
- HRABOVCOVÁ, V aj. 2001. *Moderné elektrické stroje*. Žilina: EDIS- vydavateľstvo ŽU. 265 s. ISBN 80-7100-809-5
- KOZIOREK, J.; CHROMČÁK, L. 2007. *Logické systémy řízení*. [online]. Ostrava: Editační středisko VŠB – TUO. [cit. 23. 2. 2022]. 370 s. ISBN 978-80-248-1490-2. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FEI/LSA/Logicke%20systemy%20rizeni.pdf>
- MRAFKO, L. 2010. *PLC a ich programovanie – 1. Čo je to PLC?*. [online]. Bratislava: Ústav riadenia a priemyselnej informatiky. [cit. 6. 3. 2022]. 6 s. ISSN 1338-0087. Dostupné z: <https://www.posterus.sk/?p=6903&output=pdf>
- NOVÁK, J. 2016. *Současné trendy rozvoje elektrických pohonů napájených z polovodičových měničů*. [online]. [cit. 25. 6. 2022]. Dostupné z: [https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/soucasne-trendy-rozvoje-elektricky-pohonu-napajenych-z-polovodicovych-menicu-2000\\_09\\_27872\\_272/](https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/soucasne-trendy-rozvoje-elektricky-pohonu-napajenych-z-polovodicovych-menicu-2000_09_27872_272/)
- PLC automatizace. *Sestava PLC*. [online]. [cit. 28. 2. 2022]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/plc/plc-hw-sestava.htm>
- Profinet University. 2018. *Profinet communication channels*. [online]. [cit. 19. 3. 2022]. Dostupné z: <https://profinetuniversity.com/profinet-basics/profinet-communication-channels/>
- Semikron. *SKiiP 11NAB126V1*. [online]. [cit. 10. 4. 2022]. Dostupné z: <https://www.semikron.com/products/product-classes/igbt-modules/detail/skiip-11nab126v1-25230010.html>
- Servo-drive s.r.o. *FAQ: často pokládané otázky o krokových motorech*. [online]. [cit. 15. 3. 2022]. Dostupné z: <https://www.servo->

[drive.cz/%C4%8Dasto\\_pokl%C3%A1dan%C3%A9\\_ot%C3%A1zky\\_o\\_krokov%C3%BDch\\_motorech.php](http://drive.cz/%C4%8Dasto_pokl%C3%A1dan%C3%A9_ot%C3%A1zky_o_krokov%C3%BDch_motorech.php)

- Siemens, s.r.o. 2014. *CPU 1212C wiring diagrams*. [online]. [cit. 5. 3. 2022]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/91696622?c=60466571019&lc=en-AE>
- Siemens, s.r.o. 2020a. *S7-400/S7-400H/S7-400F/FH*. [online]. [cit. 5. 3. 2022]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Products/5000014>
- Siemens, s.r.o. 2020b. *Standard CPUs*. [online]. [cit. 5. 3. 2022]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Products/10045649?tree=CatalogTree>
- Siemens, s.r.o. 2020c. *6AV2123-2DB03-0AX0*. [online]. [cit. 1. 3. 2022]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/6AV2123-2DB03-0AX0>
- Siemens, s.r.o. *Simatic S7-1200*. [online]. [cit. 1. 3. 2022]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>
- StateNY. 2007. *Sharpening, what, when, where*. [online]. [cit. 15. 4. 2022]. Dostupné z: <http://www.skateny.com/sharpening/>
- ŠMEJKAL, L.; MARTINÁSKOVÁ, M. 2002. *PLC a automatizace*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura. 224 s. ISBN 80-86056-58-9
- UHLÍŘ, I aj. 2007. *Elektrické stroje a pohony*. Praha: Nakladatelství ČVUT. 137 s. ISBN 978-80-01-03730-0
- VOJÁČEK, A. 2017. *Rotační enkodéry pro řízení pohonů a pohybu*. [online]. [cit. 20. 3. 2022]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/rotacni-ekodery-pro-řízení-pohonu-a-pohybu.html>



# **PŘÍLOHY**

Příloha A – CD

**Příloha k bakalářské práci**

Návrh řídicího systému brusky ledních bruslí

Martin Kylar

**CD**

## **OBSAH**

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF.
- 2 Úplný zdrojový kód aplikace ve vývojovém prostředí TIA Portal.