

**KATEDRA ELEKTRICKÝCH
POHONŮ A TRAKCE**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V PRAZE**

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



**NÁVRH A OŽIVENÍ PRACOVIŠTĚ
S MĚNIČEM DCM**

**DESIGN OF SINAMICS DCM
WORKPLACE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE: DOC. ING. JAN BAUER, PH.D.

2022

**STANISLAV
HRICIŠON**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hricišon** Jméno: **Stanislav** Osobní číslo: **503167**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrických pohonů a trakce**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektrické pohony**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh a oživení pracoviště s měničem Sinamics DCM

Název diplomové práce anglicky:

Design of Sinamics DCM workplace

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se s měničem řady DCM firmy SIEMENS
- 2) Navrhněte zapojení silové a ovládací části měniče
- 3) Zvolte jističí, spínací a další komponenty do silových a ovládacích obvodů
- 4) Oživte základní regulační smyčky měniče (otáčkovou, proudovou)

Seznam doporučené literatury:

- [1] Weidauer J., Messer R. Electrical Drives, Publics Erlangen, 2014
- [2] SCE Training Curriculum. Siemens AG, 2016
- [3] Durry B. The Control Techniques Drives and Controls Handbook 2nd ed., IeT, 2009
- [4] Pavelka J., Koblíček P. Elektrické pohony a jejich řízení. 3. přepracované vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-06007-0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Jan Bauer, Ph.D., katedra elektrických pohonů a trakce FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **28.12.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2023**

doc. Ing. Jan Bauer, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

_____ podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych na tomto místě vyjádřil poděkování vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Janu Bauerovi Ph.D. z katedry elektrických pohonů a trakce za usměrnění a věnovaný čas při řešení dané problematiky a za vysoce odborný a profesionální přístup k položeným dotazům a problémům spojenými s diplomovou prací.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 17. května 2022

.....

ABSTRAKT

Práce se věnuje problematice vývoje a modernizace komplexního systému řízení stejnosměrných pohonů s důrazem na univerzálnost použití pro více různých strojů. Jako hlavní prvek je použit měnič SINAMICS DC Master ve čtyř-kvadrantové verzi s implementovanou zpětnovazební řídicí strukturou a možností volby mezi otáčkovou a momentovou regulací. Měnič je dále ovládaný prostřednictvím PLC a HMI panelu a také s možností analogového zadávání setpointů. Výstupem práce je funkční systém řízení stejnosměrného motoru a kompletní projekt pracoviště, který by měl sloužit jako dokumentace a manuál pro daný systém a přesný popis vytvoření a smyslu použití cyklické a acyklické komunikace mezi PLC a měničem.

Klíčová slova: SINAMICS DC Master, stejnosměrný stroj, SIMATIC PLC, stejnosměrný motor, čtyř-kvadrantový provoz, reverzace otáček a momentu, komplexní průmyslová aplikace, vizualizace, HMI, PROFINET, komunikační telegramy, telegram 352, Siemens

ABSTRACT

The main purpose of this paper is a development and a modernization of a complex controlling system of DC drives application with a universal use with as many types of DC motors as possible. SINAMICS DC Master converter in a four-quadrant version with implemented closed-loop control is defined as the main component. There are two possible types of regulation, which means torque and speed control loop. The converter is handled by a PLC and an HMI panel with an option of analog setpoint insert. The output of this Diploma Thesis is fully functional control application for DC drives and complete project of a workstation, which will be used as documentation and a manual for this system and will give a reader a specific look into the problematics of communication between PLC and converter.

Keywords: SINAMICS DC Master, SIMATIC PLC, DC machine, DC motor, four-quadrant operation, reversing revolution and moment of drive, complex industrial application, visualization, HMI, PROFINET, communication telegrams, telegram 352, Siemens

OBSAH

ÚVOD.....	1
KAPITOLA 1: ZÁKLADNÍ PRINCIPY, FUNKCE A ŘÍZENÍ STEJNOSMĚRNÝCH STROJŮ	2
1.1 ZÁKLADY ELEKTROMAGNETICKÝCH PRINCIPŮ UPLATŇUJÍCÍCH SE U ELEKTRICKÝCH TOČIVÝCH STROJŮ	2
1.1.1 Magnetické pole a tvorba magnetického toku.....	2
1.1.2 Konverze mechanické a elektrické energie	3
1.2 PRINCIP ČINNOSTI STEJNOSMĚRNÉHO MOTORU	5
1.3 TEORIE ŘÍZENÍ STEJNOSMĚRNÝCH POHONŮ.....	6
1.3.1 Základní rovnice, mechanické charakteristiky a způsoby řízení	6
1.3.2 Zdroj a prostředky řízení stejnosměrného napětí a proudu.....	7
1.3.3 Regulační struktura.....	10
1.4 STEJNOSMĚRNÝ POHON VE ČTYŘ–KVADRANTOVÉM PROVOZU A ČTYŘ–KVADRANTOVÉ MĚNIČE.....	12
1.4.1 Provoz stejnosměrného pohonu ve čtyřech kvadrantech.....	12
1.4.2 Reverzační měnič s okruhovými proudy	13
1.4.3 Reverzační měnič bez okruhových proudů	15
1.4.4 Tranzistorový čtyř–kvadrantový pulsní měnič.....	16
KAPITOLA 2: SINAMICS DC MASTER	17
2.1 PŘEDSTAVENÍ MĚNIČE	17
2.1.1 Parametry zvoleného měniče	17
2.2 TECHNOLOGIE ŘÍZENÍ	18
2.2.1 Setpointy a měřené veličiny pro zpětnovazební řízení	18
2.2.2 Rychlostní a proudové regulátory a regulace momentu.....	19
2.2.3 Ostatní funkce regulační struktury	19
2.3 TOPOLOGIE OBVODU VÝKONOVÉ ČÁSTI.....	20
KAPITOLA 3: NÁVRH PRACOVIŠTĚ S DCM MĚNIČEM	21
3.1 VÝBĚR A DIMENZOVÁNÍ KOMPONENTŮ.....	21
3.1.1 Sítové pojistky a pojistka na stejnosměrné straně měniče	21
3.1.2 Třífázové vstupní tlumivky.....	22
3.1.3 Vyhlazovací tlumivka na straně DC motoru	23
3.2 TOPOLOGIE, NAPÁJECÍ A OVLÁDACÍ ZAPOJENÍ PRACOVIŠTĚ	23
3.2.1 Principiální zapojení silové části pracoviště	23
3.2.2 Principiální schéma ovládací části.....	25
3.2.3 Model vozíku a topologické uspořádání komponentů pracoviště.....	26
3.3 NÁVRH A ROZMĚRY KONSTRUKCE PRACOVIŠTĚ	29
KAPITOLA 4: PARAMETRIZACE MĚNIČE, PRINCIPY A REALIZACE SOFTWARE APLIKACE	31
4.1 PRVNÍ UVEDENÍ MĚNIČE DO PROVOZU A PARAMETRIZACE MĚNIČE POMOCÍ SOFTWARE STARTER.....	31
4.2 PRINCIP KOMUNIKACE MEZI DCM MĚNIČEM A PLC	31
4.2.1 Cyklická komunikace.....	31
4.2.2 Acyklická komunikace	33

4.3 OŽIVOVÁNÍ KOMUNIKACE, MOMENTOVÉ A RYCHLOSTNÍ ŘÍDÍCÍ SMYČKY	34
4.3.1 Zprovoznění komunikace.....	34
4.3.2 Funkční blok pro zadávání žádaných hodnot.....	35
4.3.3 Změna způsobů řízení a přepínání mezi otáčkovou a momentovou regulací.....	36
4.3.4 Realizace změny budicího proudu a ovlivňování magnetického toku stroje	37
4.3.5 Realizace parametrizace pomocí HMI receptur	37
4.4 DESIGN A REALIZACE UŽIVATELSKÉHO ROZHRANÍ.....	38
4.4.1 Uživatelská a administrativní obrazovka.....	38
4.4.2 Hlavní obrazovka pro ovládaní stavu, parametrizace a výběr způsobů řízení aplikace	38
4.4.3 Realizace dialogového okna pro zpuštění systémů a vizualizaci stavu systémů.....	39
4.4.5 Obrazovka pro parametrizaci měniče a zpuštění optimalizačních operací	41
4.4.6 Realizace výběrů typu regulační struktury	41
4.4.7 Obrazovky pro řízení momentu nebo rychlosti motoru.....	42
4.4.8 Vyskakovací okno pro hlášení chyb aplikace	43
ZÁVĚR.....	44
LITERATURA	46
PŘÍLOHA A: PŘÍKLAD SEZNAMU SYMBOLŮ A ZKRATEK	47
A.1 SEZNAM SYMBOLŮ.....	47
A.2 SEZNAM ZKRATEK	48
PŘÍLOHA B: OVLÁDACÍ PROGRAM REALIZOVANÝ PROSTŘEDNICTVÍM PLC.....	49
B.1 HLAVNÍ LOGICKÁ STRUKTURA PROGRAMU	49
B.1.1 Realizace částí zaznamenávání setpointů z HMI panelu a potenciometrů.....	49
B.1.2 Realizace částí pro parametrizaci měniče prostřednictvím HMI receptur	50
B.1.3 Sekce volného zápisu a čtení parametrů měniče.....	51
B.1.4 Úprava proměnné pro vytvoření HMI alarmů od měniče DC Master	51
B.1.5 Sekce vykonávání optimalizačních úkonů měniče a realizace odbuzování motoru.....	52
B.1.6 Blokace řízení a úprava řídicího slova měniče	53
B.1.7 Úprava setpointů před posláním pomocí telegramu 352 do CUD měniče	54
B.1.8 Programový blok pro cyklickou komunikaci PLC s měničem	55
B.1.9 Programová část parametrizace pro výběr typu řízení stejnosměrného motoru.....	56
B.2 FUNKČNÍ BLOK PRO ČTENÍ SEPTOINTŮ Z HMI PANELŮ NEBO ANALOGOVĚ	57
B.2.1 Kalibrace potenciometrů.....	57
B.2.2 Přemostění výstupního signálů podle typu zadávání setpointů.....	57
B.2.3 Bezpečnostní omezení výstupních setpointů.....	58
B.2.4 Limity setpointů zadaných prostřednictvím HMI panelu	59
B.2.5 Logika čtení setpointů, podle modu zadávání a zpracování HMI a analogových hodnot na výstup	60

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Základní princip tvorby magnetického toku prostřednictvím průtoku proudu	3
Obr. 1-2 Pravidlo pravé a levé ruky pro určení síly působící na vodič a proudu při pohybu vodiče v magnetickém poli	4
Obr. 1-3 Jednoduchý generátor s využitím permanentního magnetu a pravoúhlé cívky	4
Obr. 1-4 Jednoduchý stejnosměrný motor	5
Obr. 1-5 Průběh komutace u stejnosměrného motoru s komutátorem s jednou cívkou	5
Obr. 1-6 Mechanické charakteristiky stejnosměrného motoru při a) změně napětí b) změně magnetického toku stroje	7
Obr. 1-7 Třífázový a) 3-pulzní řízený usměrňovač v uzlovém zapojení b) 6-pulzní řízený usměrňovač v můstkovém zapojení	7
Obr. 1-8 Řídicí charakteristika tyristorového usměrňovače při RL zátěži a nepřerušovaném proudu	8
Obr. 1-9 Blokové schéma generátorů impulzů pro řízení tyristoru a průběh generace impulzů	9
Obr. 1-10 Jednopulzní tranzistorový stejnosměrný měnič s aktivní zátěží	9
Obr. 1-11 Principiální průběhy jednopulzního měniče s aktivní zátěží při nepřerušovaném proudu	10
Obr. 1-12 Matematický model stejnosměrného stroje s konstantním buzením	10
Obr. 1-13 Kaskádní regulační struktura s otáčkovou a podřízenou proudovou vazbou	11
Obr. 1-14 Pracovní kvadranty provozu elektrických pohonů	12
Obr. 1-15 Principiální zapojení reverzačního měniče s okruhovými proudy	13
Obr. 1-16 Regulační struktura řízení pohonů s reverzačním měničem s okruhovými proudy s jedním regulátorem proudu	14
Obr. 1-17 Regulační struktura řízení pohonů s reverzačním měničem bez okruhových proudů s jedním regulátorem proudu	15
Obr. 1-18 Zapojení čtyř-kvadrantového tranzistorového měniče	16
Obr. 1-19 Regulační struktura řízení pohonu s čtyř-kvadrantovým tranzistorovým měničem	16
Obr. 2-1 Siemens měniče řady SINAMICS DCM	17
Obr. 2-2 Realizace regulační struktury v DCM měniči	18
Obr. 2-3 Zapojení výkonové části DCM měniče	20

SEZNAM TABULEK

Tab. 2-1 Parametry měniče SINAMICS DC Master 6RA8018- 6DV62-0AA0	17
Tab. 3-1 Doporučené typy pojistek pro měnič DCM 400 V 30 A	21
Tab. 3-2 Rozměry použitých komponentů pracoviště	29
Tab. 4-1 Struktura komunikačního telegramu 352	32
Tab. 4-2 Struktura STW1 v parametru „configAxis“ ve funkčním bloku SINA_SPEED_TLG352	33
Tab. 4-3 Parametry ovlivňující způsob řízení stejnosměrného stroje	36
Tab. 4-4 Parametry pro nastavení způsobů odbuzování stejnosměrného stroje	37
Tab. 4-4 Parametry pro identifikaci řízeného motoru	37

Obr. 3-1 Blokové schéma zapojení DCM pracoviště při zapojení měniče z jednoho zdroje	24
Obr. 3-2 Blokové schéma zapojení DCM pracoviště při zapojení měniče ze samostatných zdrojů	24
Obr. 3-3 Blokové zapojení ovládací části DCM pracoviště	26
Obr. 3-4 Model vozíku DCM pracoviště	27
Obr. 3-5 Rozložení a popis vstupních a výstupních tlumivek.....	27
Obr. 3-6 Rozložení komponentů DCM pracoviště	28
Obr. 3-7 Pohled na rozvodní skříně pracoviště, uchycení ovládacího panelu a pohotovostní tlačítko	28
Obr. 3-8 Rozměrový výkres vozíku s uspořádáním komponentů – vnější strana	29
Obr. 3-9 Rozměrový výkres vozíku s uspořádáním komponentů – vnitřní uspořádání.....	30
Obr. 4-1 Zobrazení funkčního bloku SINA_SPEED_TLG352.....	32
Obr. 4-2 Zobrazení funkčního bloku SINA_PARA	34
Obr. 4-3 Ukázka hardware konfigurace v TIA Portál	34
Obr. 4-4 Ukázka topologické konfigurace v TIA Portál	35
Obr. 4-5 Zobrazení funkčního bloku setPointReader	36
Obr. 4-6 Obrazovka přihlášení uživatele a obrazovka administrace receptur a uživatelů	38
Obr. 4-7 Domovská obrazovka vizualizační aplikace	39
Obr. 4-8 Struktura proměnné Status Word.....	39
Obr. 4-9 Domovská obrazovka s dialogovým oknem zobrazujícím status systému a po spuštění systému	40
Obr. 4-10 Obrazovka pro parametrizaci měniče pro daný typ motorů, volná parametrizace a optimalizace regulátorů	41
Obr. 4-11 Dialogové okno pro výběr receptury a start řízení	42
Obr. 4-12 Obrazovka řízení s grafikou pro znázornění aktuálních hodnot a postranní vyskakovací okno pro nastavení řízení.....	42
Obr. 4-13 Obrazovka řízení s povoleným přenosem setpointů s aktuálními hodnotami a se zobrazením průběhů	43
Obr. 4-14 Dialogové okno s náhlou chybou systému	43

ÚVOD

Práce se věnuje problému využití a modernizace stejnosměrných pohonů v průmyslu a zkušebních laboratořích pro výuku studentů pro osvojení znalostí pro řízení a měření na elektrických pohonech.

Jedním ze základních způsobů, jak ověřit dynamiku a funkčnost aplikace ještě před uvedením do reálného provozu nebo provedení různých zkoušek funkcionality a měření na elektrických pohonech je simulovat jejich zatížení při různých podmínkách a s různou zátěží. To je možné pomocí simulačních programů a matematických modelů strojů, přičemž se uvažují určitá zjednodušení při konstrukci matematického modelu, čímž se do tohoto modelu zavedou také určité nepřesnosti. Avšak tyto prostředky jsou nejbezpečnější a poskytují dostatečnou přesnost pro prvotní návrh řízení.

Dále je pro odladění a reálnější zkoušky možno využít skutečných prostředků zatěžování, přičemž zatěžování pomocí umístění různých prvků simulujících zatížení na hřídel testovaného motoru nebo pomocí nějakého mechanického systému by bylo složité, neefektivní a nebylo by univerzální. To znamená, že pro každý jiný typ testovaného motoru by bylo nutno navrhnout jiný způsob zatěžování. Také připojení k reálnému pracovnímu mechanismu ve fázi vývoje pohonu by mohlo vést k jeho destrukci.

Způsobem, jak nejuniverzálněji vykonávat takovéto zkoušky, je využití stejnosměrného řízeného pohonu s nastavením protimomentu nebo požadované uhlové rychlosti, což je umožněno díky obvodu výkonové elektroniky a prostředkům řízení. Stejnosměrným pohonem je pak možno vytvořit přesně nadefinovaný moment, případně přednastavit různé automatizované sekvence pro specializované zkoušky.

Kromě využití stejnosměrných motorů pro zatěžování jsou tyto typy motorů využívány pro různé starší průmyslové aplikace, ve kterých by bylo jejich nahrazení střídavými motory podstatně nákladnější, a tak se přistupuje k modernizaci systémů řízení stejnosměrných pohonů.

Práce se zabývá komplexním řešením pohonářské aplikace se stejnosměrným motorem, který bude sloužit pro zatěžování jiných motorů a také bude využíván jako prostředek k vykonávání jednotlivých zkoušek a měření na stejnosměrných motorech v rámci výuky v laboratoři elektrických pohonů. V podstatě se jedná o víceúčelový systém řízení stejnosměrného motoru.

Práce se věnuje jak teoretické části fungování použitého čtyř-kvadrantového měniče a stejnosměrného motoru, tak jednotlivým praktickým návrhům částí systému z pohledu ochrany zařízení a okolí vůči účinkům nadproudů a přepětí, efektivnímu rozvržení pracoviště z pohledů funkcionality systémů a využití prostorů instalace. Další důležitou praktickou částí je popis softwarových prostředků pro programování samotného řídicího systému a tvorby HMI s ohledem na maximální přizpůsobení se obsluze a vyloučením největšího množství potenciálních chyb při ovládání.

Jedná se tak o návrh, sestavení a naprogramování reálné aplikace z jednotlivých průmyslových komponentů poskytovaných firmou Siemens a složení do funkčního celku. Pomocí znalostí nabytých při studiu se zahrnutím znalosti orientace v katalozích a manuálech poskytnutých komponentů se sestaví funkční hardwarová konfigurace a propojí se hardwarové vybavení. Dále se s ohledem na znalosti programovatelných automatů a HMI naprogramuje systém podle zadané požadované funkce.

KAPITOLA 1: ZÁKLADNÍ PRINCIPY, FUNKCE A ŘÍZENÍ STEJNOSMĚRNÝCH STROJŮ

1.1 Základy elektromagnetických principů uplatňujících se u elektrických točivých strojů

Každý elektrický stroj se skládá z elektrických a magnetických obvodů, které umožňují přeměnu elektrické energie na mechanickou energii nebo proměnu z mechanické na elektrickou energii. Elektrický obvod je charakterizován nějakými vodiči protékanými proudem a vyznačuje se cestou, kterou může protékat elektrický proud. Magnetický obvod se může skládat z vodičů protékanými proudem nebo permanentního magnetu a vyznačuje se oblastí, kterou se uzavírá magnetický tok. Pro vysvětlení principů stejnosměrného stroje je nutno rozumět základním principům tvorby magnetického toku, které budou následně vysvětleny [1].

1.1.1 Magnetické pole a tvorba magnetického toku

Mezi dva případy tvorby magnetického toku patří vodič, kterým protéká proud Obr. 1-1a nebo permanentní magnet, který může být také nahrazen cívkou navinutou o N závitů vodiče Obr. 1-1b [1].

V prvním případě vodič prostřednictvím proudu generuje magnetické pole s intenzitou H . Intenzita magnetického pole je daná směrem proudu, který teče vodičem a tato intenzita závisí také na vzdálenosti od vodiče [1]:

$$H = \frac{I}{2\pi l_R}, \quad (1-1)$$

kde H – intenzita magnetického pole, I – proud tekoucí vodičem a l_R – radiální vzdálenost od vodiče, pak si můžeme definovat magnetickou indukci B následovně [1]:

$$B = \mu \cdot H, \quad (1-2)$$

kde μ – celková permeabilita materiálu magnetického obvodu. Konečně vyjádříme magnetický tok pomocí uspořádaní na obrázků levé části, kde se tok počítá přes plochu A [1]:

$$\Phi = B \cdot A, \quad (1-3)$$

kde Φ – magnetický tok, A – představuje plochu, kterou prochází daný tok.

V druhém případě magnetický tok vytváří přímo samotný magnet a je určený řadou faktorů včetně B - H charakteristiky magnetu nebo jak bylo zmíněno výše, v případě, když je vodič navinut ve formě cívky, zintenzivní se magnetická síla vodiče. To je způsobeno sečtením magnetických toků vodičů uložených blízko u sebe. Tím pádem se takováto cívka vlastnostmi přibližuje charakteristikám permanentního magnetu [1].

Vyjádříme magneto-motorickou sílu, magnetický tok a reluktanci magnetického obvodu s cívkou znázorněného na Obr. 1-1b [1]:

$$F_{MM} = N \cdot I, \quad (1-4)$$

kde F_{MM} – magneto-motorická síla, N – počet závitů cívky, a I – proud protékající cívkou

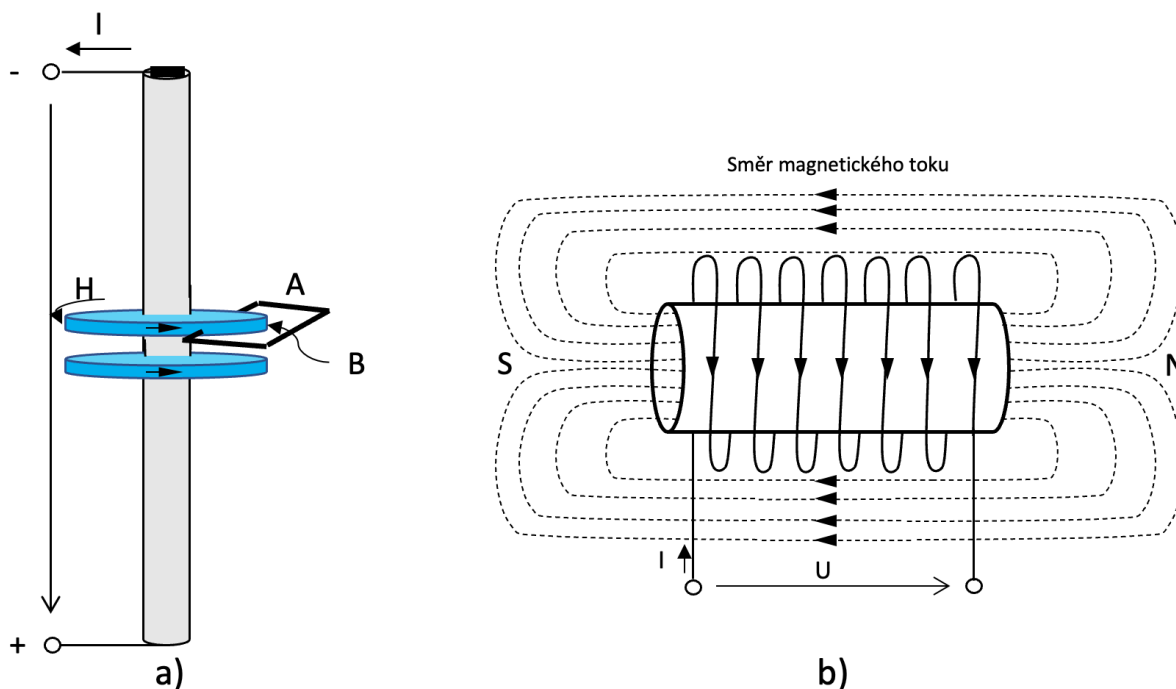
$$\Phi = \frac{F_{MM}}{R_m} = \frac{N \cdot I}{R_m}, \quad (1-5)$$

kde R_m – reluktance magnetického obvodů, která se stanovuje z geometrie magnetického obvodu a parametrů materiálu a můžeme ji stanovit ze vztahu:

$$R_m = \frac{l}{\mu \cdot A} = \frac{l}{\mu_0 \mu_r \cdot A}, \quad (1-6)$$

kde l – délka, μ_0 – permeabilita vakua, μ_r – relativní permeabilita, A – plocha průřezu.

Z konstrukce točivých strojů, které obsahují mezi státorem a rotorem vzduchovou mezeru, je zřejmé, že tato vzduchová mezeru zároveň představuje velkou reluktanci oproti zbytku magnetického obvodu elektrického stroje, tím pádem kriticky ovlivňuje magnetický tok a tedy i výkon stroje [1]. Pro dosažení dostatečné magnetické indukce ve vzduchové mezeře musí být právě tato mezeru malá [2].



Obr. 1-1 Základní princip tvorby magnetického toku prostřednictvím průtoku proudu [1] (upraveno)

1.1.2 Konverze mechanické a elektrické energie

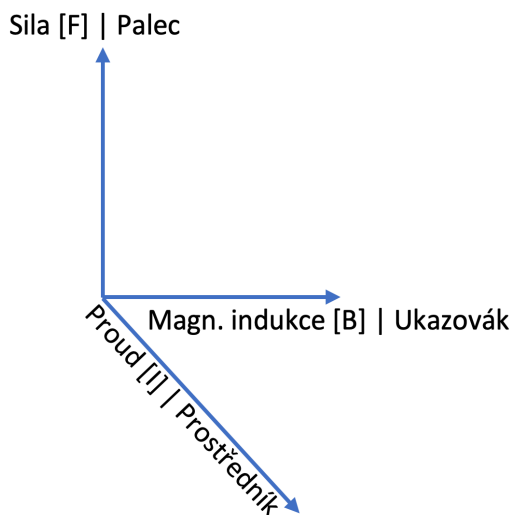
Dalšími základními principy jsou možnosti konverze elektrické a mechanické energie, které jsou využívány u elektrických strojů. Prvním základním principem je vyrovnání magnetických siločar, resp. srovnání směrů působení magnetického toku [1]. Tento způsob se využívá například u reluktančních motorů, kde má rotor snahu se v každém okamžiku natočit do takové pozice vůči statoru, která odpovídá nejmenšímu magnetickému odporu, resp. do pozice, kde je naakumulovaná největší magnetická energie.

Tato práce se zabývá především konvenčním stejnosměrným motorem využívajícím principu interakce mezi magnetickým polem a vodičem, proto výše uvedený princip nebude rozebírán podrobně.

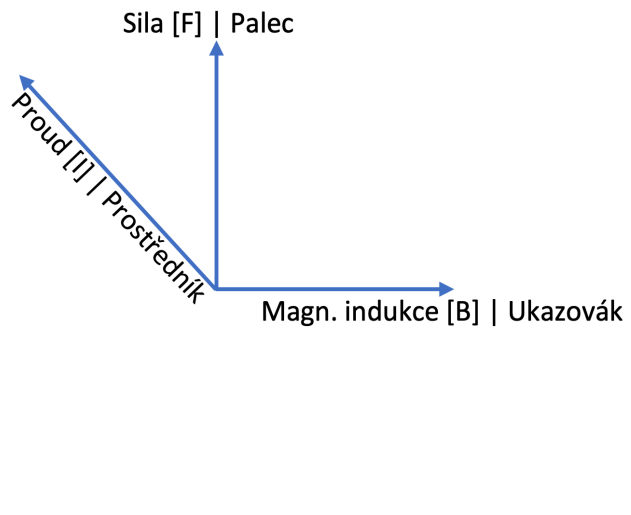
Druhý zmíněný princip je založen na interakci magnetického pole a vodiče, kterým protéká proud. Vychází z Lorentzové síly, jež říká, že na nabitou částici pohybující se v magnetickém poli působí síla, jež je kolmá na rovinu pohybu náboje. Náboj pohybující se ve vodiči o délce l je vyjádřen proudem I , a můžeme vyjádřit sílu F působící na vodič následovně [1]:

$$F = B \times I \times l. \quad (1-7)$$

U vodiče vloženého do magnetického pole, kterým protéká proud, je možné zjistit směr působení síly na základě pravidla levé ruky. Zároveň při pohybu tohoto vodiče, kterým bude protékat proud a bude vložený do magnetického pole je možno stanovit směr generovaného proudu, na základě Flemingova pravidla pravé ruky. Obě tato pravidla jsou znázorněna na Obr. 1-2 a je zřejmé, že proud generovaný pohybem vodiče v magnetickém poli bude působit proti původnímu proudu, který protékal vodičem [1].



Pravidlo levé ruky



Pravidlo pravé ruky

Obr. 1-2 Pravidlo pravé a levé ruky pro určení síly působící na vodič a proudu při pohybu vodiče v magnetickém poli [1](upraveno)

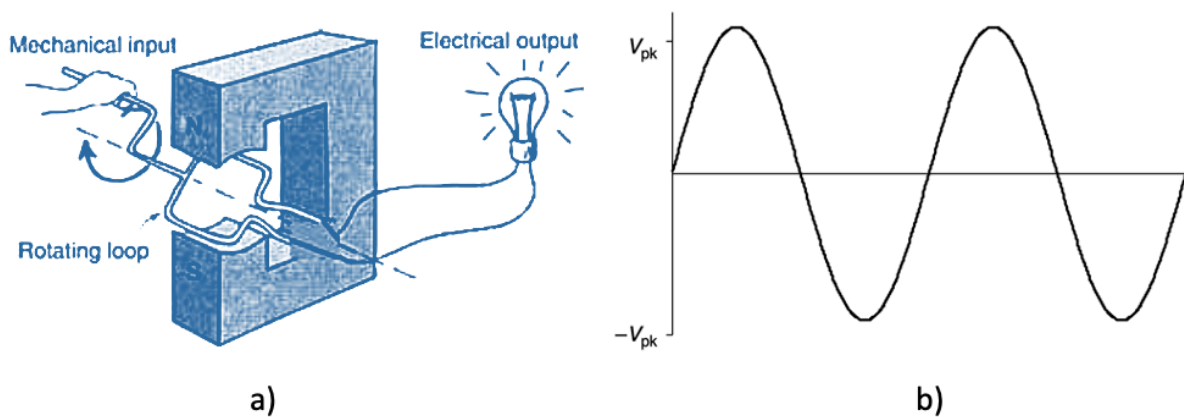
Princip interakce magnetického pole a vodiče je vysvětlen na jednoduchém generátoru zobrazeném na Obr. 1-3 a vychází z Faradayova zákona elektromagnetické indukce, který říká, že když se vodič o délce l pohybuje rychlostí v pod pravým úhlem v magnetickém poli, tak je indukováno napětí U_i [1]:

$$U_i = B \cdot l \cdot v. \quad (1-8)$$

Využitím této rovnice a aplikováním na pravoúhlu cívku o N závitěch, s osovou délkou l , poloměrem otáčení r s konstantní rychlostí otáčení ω vloženou do homogenního magnetického pole, se bude indukovat sinusové střídavé napětí s určitou amplitudou a frekvencí. Tyto parametry napětí budou úměrné rychlosti ω , která v případě stroje s jedním pólpárem odpovídá elektrické uhlové rychlosti. [1] Výstupní indukované napětí je dáno podle [1]:

$$U_i = B \cdot (2l) \cdot (r\omega \cdot \sin \omega), \quad (1-9)$$

z toho můžeme soudit, že když je při otáčení jednoduchou cívku v magnetickém poli generované napětí sinusové a střídavé, tak točivý moment v motorickém případě u stejného uspořádání by měl obdobný charakter [1].



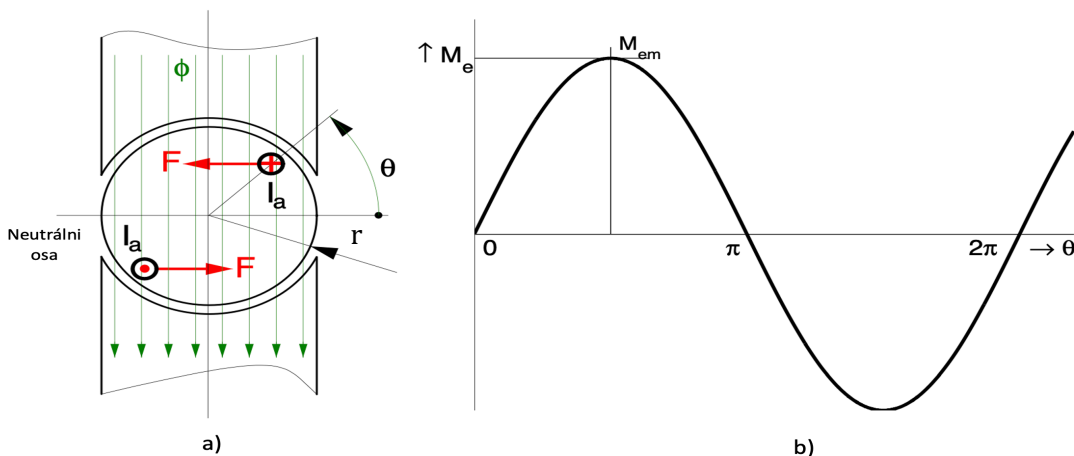
Obr. 1-3 Jednoduchý generátor s využitím permanentního magnetu a pravoúhlé cívky [1](upraveno)

1.2 Princip činnosti stejnosměrného motoru

Výše byla vysvětlena interakce vodiče protékáným proudem a magnetického pole a tento princip teď aplikujeme ve smyslu motorického provozu na jednoduchém stejnosměrném motoru principiálně znázorněném na Obr. 1-4a, který se skládá z [2]:

- Vinutí rotoru jen o jednom závitě
- Vinutí statoru nebo permanentního magnetu

Stejnosemřný magnetický tok je vytvořen pomocí magnetu nebo průtokem budicího proudu I_b statorovým (budícím) vinutím a budeme uvažovat, že magnetické siločáry vstupují ze statoru kolmo na rotor. Vinutím rotoru protéká proud kotvy I_a [2].



Obr. 1-4 Jednoduchý stejnosměrný motor [2](upraveno)

Ke stanovení síly působící na rotorové vodiče použijeme upravený vztah 1-7, kde výslednému magnetickému toku odpovídá magnetická indukce ve vzduchové mezeře B [2]:

$$F = I_a(B \times dl) = I_a Bl \sin \theta = F_m \sin \theta, \quad (1-10)$$

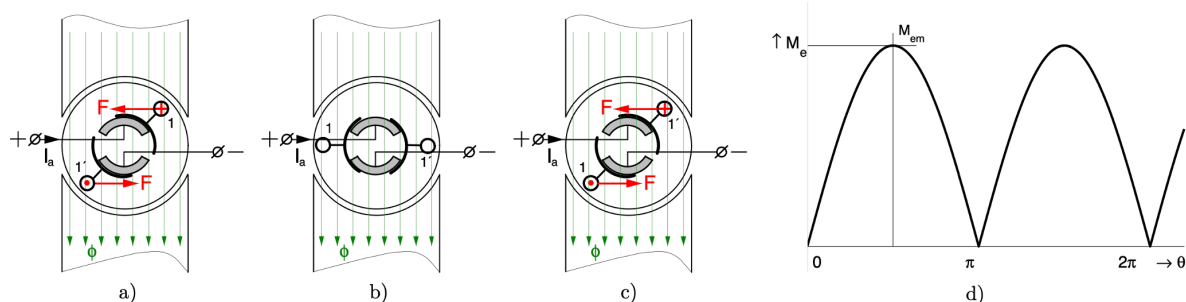
kde F_m je maximální síla. Na rotoru vznikne elektromagnetický moment M_e daný vztahem [2]:

$$M_e = 2r F_m \sin \theta = M_{em} \sin \theta, \quad (1-11)$$

kde M_{em} je maximální hodnota elektromagnetického momentu stroje.

Elektromagnetický moment je střídavý a působí tak jako je naznačeno na Obr. 1-4b, z čehož vidíme, že maximální moment je vyvíjen v případě, kdy je úhel θ roven 90° tzn. kdy spojnice rotorových pólů je souběžná s magnetickými siločarami. Naopak nulový moment stroje bude tehdy, když spojnice pólů bude totožná s neutrální osou [2].

Pro získání momentů jen v jednom směru je nutné, aby síla působící na rotorové vodiče změnila směr v okamžiku průchodu pólů neutrální osou. Z pravidla levé ruky je zřejmé, že se musí změnit polarita proudu a k tomuto účelu slouží komutátor. Čím více bude mít komutátor cívek tím dojde k většímu vyhlazení výsledného momentu [2].



Obr. 1-5 Průběh komutace u stejnosměrného motoru s komutátorem s jednou cívkou [2]

1.3 Teorie řízení stejnosměrných pohonů

1.3.1 Základní rovnice, mechanické charakteristiky a způsoby řízení

Mnoho průmyslových stejnosměrných regulovaných pohonů středních a vysokých výkonů je založeno na konstrukci cize buzeného motoru nebo motoru s permanentními magnety uloženými ve statoru. Z toho důvodu se tato kapitola bude věnovat převážně obecné teorii řízení tohoto typu motorů.

Stejnosemřný stroj představuje ideální regulační soustavu z důvodu možnosti řízení otáček stroje jen pomocí řízení úrovně napětí přiváděného na kotvu motoru. [3]

Základní rovnice opisující stejnosměrný motor jsou dány:

$$U_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + U_i, \quad (1-12)$$

$$U_i = c\phi\omega, \quad (1-13)$$

$$M = c\phi i_a, \quad (1-14)$$

$$M - M_z = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (1-15)$$

kde U_a – napětí kotvy motoru, i_a – proud vinutí kotvy, R_a – odpor vinutí kotvy, L_a – indukčnost vinutí kotvy, U_i – indukované napětí, c – konstanta stroje, Φ – magnetický tok, ω – elektrická uhlová rychlost, M – elektromagnetický moment vyvíjený motorem, M_z – krouticí moment vyvíjený zátěží a J – krouticí moment setrvačných hmot.

Rovnice 1-12 pro ustálený stav stroje vyjadřuje rovnováhu elektrických napětí obvodu kotvy a lze z ní po následující úpravě odvodit statickou zatěžovací charakteristiku stejnosměrného motoru, ze které plynou jednotlivé možnosti řízení uhlové rychlosti motoru [3]:

$$U_a = R_a i_a + U_i = R_a i_a + c\phi\omega. \quad (1-16)$$

Po vyjádření proudu kotvy i_a z momentové rovnice 1-14 a dosazení do rovnice 1-12 dostaneme [3]:

$$U_a = R_a \frac{M}{c\phi} + c\phi\omega. \quad (1-17)$$

A po konečné úpravě vyjádřením uhlové rychlosti ω dostáváme rovnici statické zatěžovací charakteristiky [3]:

$$\omega = \frac{U_a}{c\phi} - \frac{R_a}{(c\phi)^2} M = \omega_0 - kM, \quad (1-18)$$

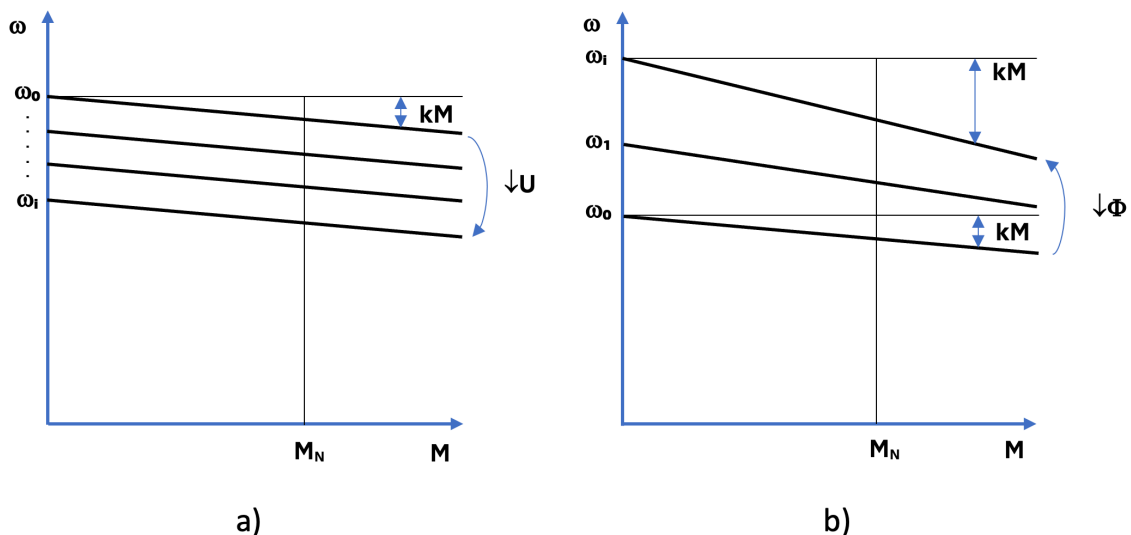
Kde výraz kM – představuje sklon, resp. směrnici charakteristiky.

Ze vztahu 1-18 vyplývají možné způsoby řízení uhlové rychlosti stejnosměrných pohonů. Vidíme, že ta se dá ovlivňovat pomocí napájecího napětí kotvy motoru. Při tomto způsobu jsme schopni motor řídit v rozsahu od nulových po jmenovité otáčky, resp. po jmenovitou uhlovou rychlost.

Druhým způsobem je vykonat změnu magnetického toku tzv. odbuzováním, tzn. snížením budícího proudu v budícím vinutí. Tento způsob lze využít jenom při stejnosměrném motoru s cizím buzením a jsme schopni dosáhnout uhlové rychlosti motoru nad jmenovitou hodnotou.

Posledním způsobem řízení je ovlivňování odporu kotvy motoru pomocí spínání přídatných odporů do série s kotvou, avšak tento způsob se vlivem pokroku v polovodičové technice a vývojem měničů v dnešní době nepoužívá.

Grafické zobrazení statické zatěžovací charakteristiky při změně napětí a odbuzování stejnosměrného stroje je znázorněno na Obr. 1-6.



Obr. 1-6 Mechanické charakteristiky stejnosměrného motoru při a) změně napětí b) změně magnetického toku stroje

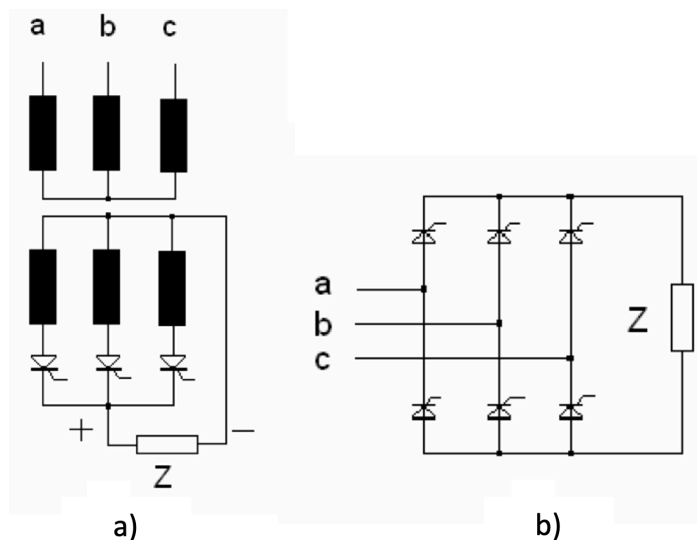
Při regulaci rychlosti prostřednictvím změny napájecího napětí kotvy je zřejmé, že s klesajícím napětím na kotvě motoru se mění uhlová rychlost bez změny sklonu charakteristiky a tím pádem se nemění zátěžové vlastnosti motoru.

Jiný případ nastává v okamžiku, kdy regulujeme rychlost za oblast odbuzení. Vidíme, že jsme schopni zvýšit uhlovou rychlost nad jmenovitou hodnotu, avšak na úkor změny sklonu charakteristiky, což znamená, že nejsme schopni v tomto režimu plně zatěžovat motor. Když bychom zatížili motor jmenovitým momentem, uvidíme, že by došlo k výraznému poklesu uhlové rychlosti, což je při přesné regulaci nežádoucí. Vlivem odbuzování motoru dochází ke změně zátěžových vlastností motoru.

1.3.2 Zdroj a prostředky řízení stejnosměrného napětí a proudu

Napájení elektrického regulovaného pohonu se uskutečňuje pomocí frekvenčních měničů nebo jiných prvků výkonové elektroniky. Stejnosměrné pohony využívají pro tento účel řízených a polořízených tyristorových usměrňovačů nebo měničů stejnosměrného napětí.

Řízené tyristorové usměrňovače z napětí a proudu střídavé sítě vytvoří usměrněné stejnosměrné napětí a proud.



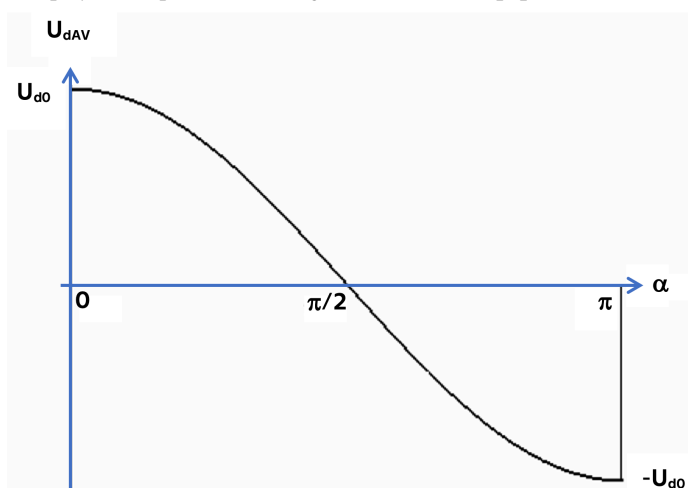
Obr. 1-7 Třífázový a) 3-pulzní řízený usměrňovač v uzlovém zapojení b) 6-pulzní řízený usměrňovač v můstkovém zapojení [3]

Výstupní stejnosměrné napětí je charakterizováno střední hodnotou usměrněného napětí a pro teoretické vysvětlení funkce usměrňovače se uvažuje kombinovaná zátěž s indukčností při nepřerušovaném proudu. Tím pádem je možné vyjádřit závislost střední hodnoty výstupního napětí na řídicím úhlu α následovně [3]:

$$U_{d(AV)} = U_{\max} \cdot \frac{q}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha, \quad (1-19)$$

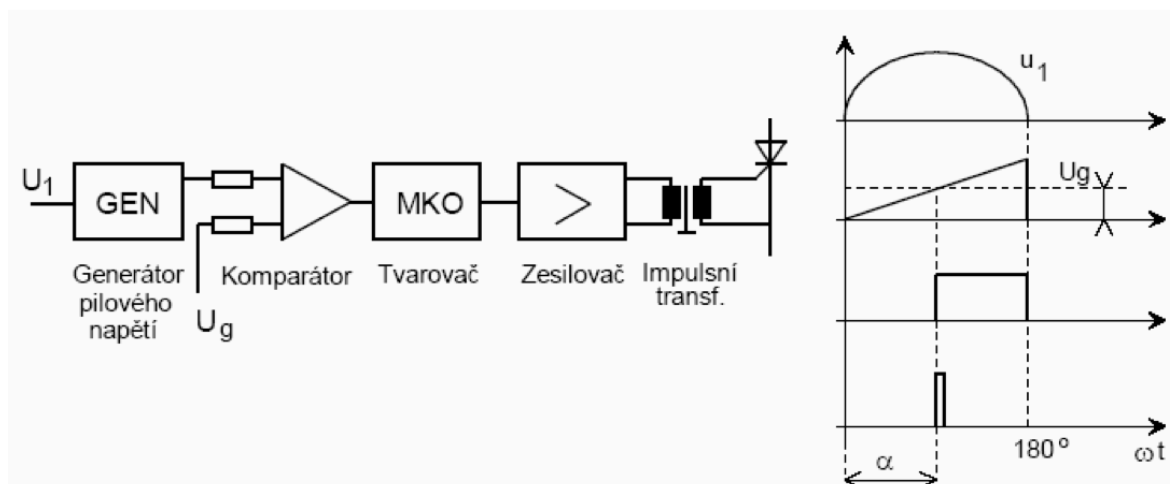
kde $U_{d(AV)}$ – střední hodnota usměrněného napětí, U_{\max} – amplituda napájecího napětí podle zapojení usměrňovače (uzlový – fázové napětí, můstek – sdružené napětí), q – počet pulzů usměrňovače a α – řídicí úhel tyristorů s počátkem od okamžiku přirozené komutace.

Vztah 1-19 lze graficky znázornit a vyjadřuje řídicí charakteristiku tyristorového usměrňovače za předpokladu kombinované zátěže s indukčností při nepřerušovaném proudu, která je znázorněna na Obr. 1-8. Z této charakteristiky vyplývají možné režimy usměrňovače, kdy v rozsahu řídicího úhlu $0 \leq \alpha < \pi/2$ pracuje v usměrňovaném režimu a kdy je střední hodnota výstupního napětí usměrňovače kladná. Pro rozsah řídicího úhlu $\pi/2 \leq \alpha \leq \pi$ pracuje usměrňovač v invertorovém režimu, kde dochází k brždění stejnosměrného stroje a ten plní funkci dynamicky udržuje nepřerušovaný proud a je také zdrojem napětí. Střední hodnota výstupního napětí je nulová pro úhel $\pi/2$ a při dalším zvyšování řídicího úhlu záporná. Z toho také vyplývá, že řízené usměrňovače jsou schopny měnit polaritu výstupního napětí při stejné polaritě výstupního proudu, která je daná zapojením polovodičových součástek [3].



Obr. 1-8 Řídicí charakteristika tyristorového usměrňovače při RL zátěži a nepřerušovaném proudu [3](upraveno)

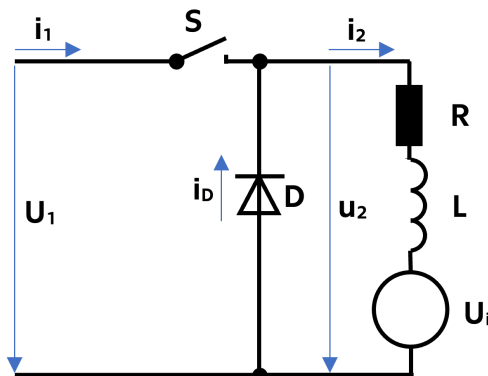
Co se týká ovlivňování řídicího úhlu tak princip řízení okamžiku otevření tyristorů se nazývá fázovým řízením. Fázové řízení je zprostředkováno generátorem řídicích impulsů pro tyristory a pozůstává ze synchronizačního obvodu s napětím na anodě tyristoru, generátoru pilovitého referenčního napětí, komparátoru a tvarovacího obvodu. Synchronizační obvod zabezpečí indikaci průchodu nulovým napětím na anodě tyristoru, pak se spustí generátor referenčního napětí. A v okamžiku, kdy dojde ke shodě referenčního napětí s požadovaným řídicím napětím v komparátoru, ten dá příkaz na vytvoření impulsu vhodných parametrů pro sepnutí tyristorů tvarovacímu obvodu. Tento vhodně natvarovaný a zesílený impuls se přivádí na řídicí elektrodu tyristoru [3].



Obr. 1-9 Blokové schéma generátorů impulzů pro řízení tyristoru a průběh generace impulzů [3]

Druhým používaným zdrojem napětí a proudu pro stejnosměrné stroje jsou měniče stejnosměrného napětí realizovaných pomocí tranzistorů, které jsou napájeny z neřízeného diodového usměrňovače. Následně se z usměrněného napětí a proudu pomocí pulzních měničů řídí výstupní napětí a proud.

Základní princip činnosti pulzních stejnosměrných měničů bude vysvětlen na obvodu, ve kterém se nahradí polovodičový spínač mechanickým spínačem a bude zapojená aktivní zátěž, která odpovídá stejnosměrnému motoru [5].



Obr. 1-10 Jednopulzní tranzistorový stejnosměrný měnič s aktivní zátěží

Pro sepnutí spínače S platí případ [5]:

$$u_z = u_2 = R \cdot i_z + L \cdot \frac{di_z}{dt} + U_i = U_1, \quad i_1 = i_z, \quad u_D = -U_1, \quad i_D = 0, \quad (1-20)$$

po řešení pro počáteční podmínku $i_z(0) = I_1$ dostaneme [5]:

$$I_z = \frac{U_1 - U_i}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{L/R}}\right) + I_1 \cdot e^{-\frac{t}{L/R}}. \quad (1-21)$$

Pro sepnutí spínače S platí případ [5]:

$$u_z = u_2 = R \cdot i_z + L \cdot \frac{di_z}{dt} + U_i = 0, \quad i_1 = 0, \quad i_D = i_z, \quad (1-22)$$

po řešení pro počáteční podmínku $i_z(0) = I_z$ dostaneme [5]:

$$I_z = \frac{-U_i}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{L/R}}\right) + I_z \cdot e^{-\frac{t}{L/R}}. \quad (1-23)$$

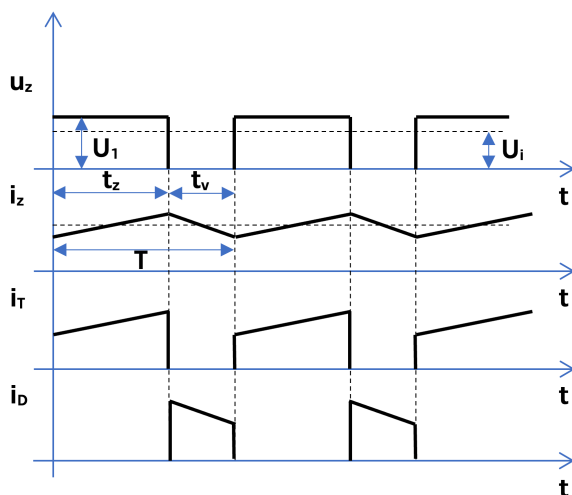
Pro střední hodnotu napětí na zátěži při nepřerušovaném proudu platí vztah [5]:

$$U_{z(AV)} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^{t_z} U_1 \cdot dt = z \cdot U_1 = R \cdot I_{z(AV)} + U_i, \quad (1-24)$$

Střední hodnota proudu zátěže po vyjádření ze vztahů 1-32 bude [5]:

$$I_{z(AV)} = \frac{z \cdot U_1 - U_i}{R}. \quad (1-25)$$

Z rovnic 1-24 a 1-25 vyplývá, že pro jakékoli napětí U_i lze docílit libovolný proud $i_{z(AV)}$ na výstupu měniče změnou poměrné doby zapnutí spínače z . Z toho vyplývá způsob řízení takovýchto typů měniče a jejich účel při regulaci stejnosměrných pohonů, kde vhodným prostředkem pro realizaci je šířkové pulzní řízení nebo šířková pulzní modulace [5].

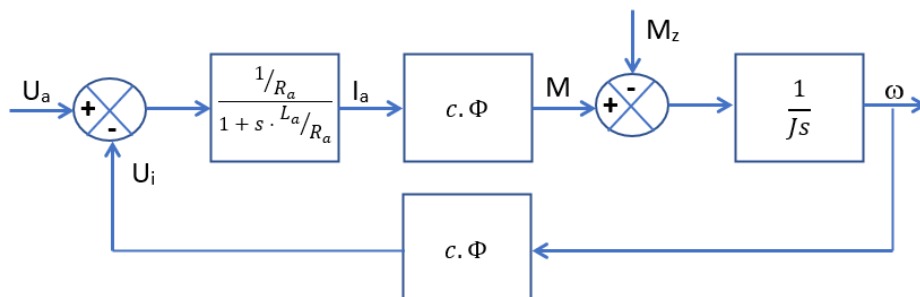


Obr. 1-11 Principiální průběhy jednopulzního měniče s aktivní zátěží při nepřerušovaném proudu [5] (upraveno)

1.3.3 Regulační struktura

Topologické schéma regulovaného stejnosměrného pohonu se skládá ze stejnosměrného motoru napájeného z měniče stejnosměrného napětí. Převážně pro stejnosměrné pohony se používají řízené tyristorové usměrňovače, které jsou řízeny z generátorů impulsu a ty generují zapalovací impulsy pro tyristory na základě kaskádní regulační struktury, která je tvořena z regulátoru kotevního proudu a nadřazeného otáčkového a v případě servopohonů dalšího polohového regulátoru.

Pro vytvoření matematického modelu stroje jsou používány rovnice 1-12 až 1-15, které se kvůli obtížnosti řešení v časové rovině převedou na vhodný tvar pomocí Laplaceové transformace. Transformacemi a úpravami rovnic získáme blokové schéma modelu:



Obr. 1-12 Matematický model stejnosměrného stroje s konstantním buzením

Rovněž potřebujeme získat opis tyristorového usměrňovače. Tento usměrňovač představuje nelineární člen s částečnou říditelností a nelze ho jednoduše popsat.

Pro opis dynamiky usměrňovače se používá zavedení náhradního dopravního zpoždění s časovou konstantou T_u získanou podle vztahů [3]:

$$T_u = \frac{1}{2fq} \quad (1-26)$$

Přenosová funkce $F_u(s)$ je charakterizována jako poměr vstupu k výstupu daného systému, což v případě tyristorového usměrňovače lze brát jako poměr změny řídicího napětí ΔU_c na vstupu ke změně výstupního napětí usměrňovače ΔU_d a je dána [3]:

$$F_u(s) = \frac{\Delta U_d}{\Delta U_c} = K_u \cdot e^{-sT_u}, \quad (1-27)$$

kde K_u – představuje zesílení a člen e^{-sT_u} – představuje dopravní zpoždění. Dopravní zpoždění je možné rozvojem pomocí Taylorovy řady a uvažováním pouze prvních dvou členů rozvoje aproximovat členem prvního řádu s náhradní časovou konstantou T_u [3].

Dalším zjednodušením je, že pokud budeme uvažovat lineární závislost mezi řídicím napětím a napětím usměrňovače v rozsahu $\alpha \in \langle -20^\circ, 160^\circ \rangle$ lze pak linearizovat zesílení usměrňovače [3].

$$K_u = \frac{\Delta U_d}{\Delta U_c} = \text{konst.} \quad (1-28)$$

Díky těmto zjednodušujícím předpokladům dostaneme přenosovou funkci $F_u(s)$ usměrňovače v konečném tvaru [3]:

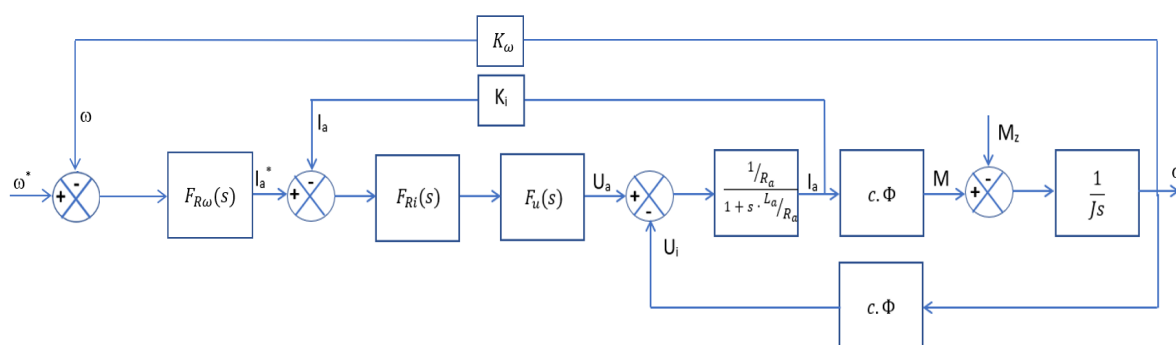
$$F_u(s) = K_u \cdot e^{-sT_u} = \frac{K_u}{1 + sT_u}. \quad (1-29)$$

Dalšími prvky regulační struktury jsou regulátory, které budou sloužit na regulaci proudu a regulaci otáček nebo momentu pohonů. Přenos PID regulátoru $F_R(s)$ je následující, přičemž z tohoto přenosu je možno odvodit přenosovou funkci kteréhokoli jiného typu regulátoru:

$$F_R(s) = K_P + \frac{K_I}{s} + sK_D, \quad (1-30)$$

kde K_P – proporční, K_I – integrační a K_D – derivační konstanta.

Na základě doplnění přenosů usměrňovače, regulátoru a podle potřeb regulace je možno vytvořit mnoho různých regulačních struktur. S využitím blokové algebry a také metod návrhu parametrů regulátorů jako metoda optimálního modulu a metoda symetrického optima lze navrhnout kompletní regulační strukturu stejnosměrného pohonu. Na Obr. 1-13 je uveden příklad blokového zapojení regulační struktury s otáčkovou vazbou a podřízenou proudovou vazbou.



Obr. 1-13 Kaskádní regulační struktura s otáčkovou a podřízenou proudovou vazbou

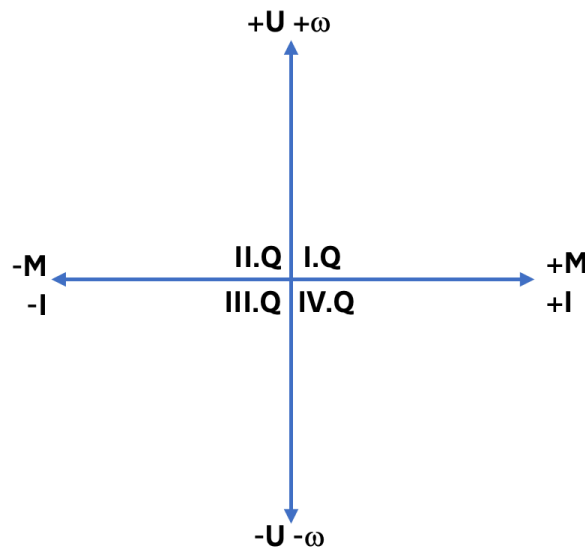
1.4 Stejnoseměrný pohon ve čtyř–kvadrantovém provozu a čtyř–kvadrantové měniče

1.4.1 Provoz stejnosměrného pohonu ve čtyřech kvadrantech

Základními fyzikálními veličinami u elektrických motorů jsou krouticí moment motorů a mechanická uhlová rychlost, resp. elektrická uhlová rychlost, které jsou ovlivňovány elektrickými veličinami. U stejnosměrných motorů je moment ovlivňován proudem tekoucím vinutím kotvy a elektrická uhlová rychlost zase polaritou a velikostí napětí přiloženém na svorky motoru. Samozřejmě jsme tyto mechanické veličiny také schopni ovlivnit budícím magnetickým tokem a parametry motoru, to však do určité míry závisí od konstrukce a daného typu stroje.

Byl konvenčně zaveden kvadrantový systém, který vymezuje polaritu napětí a proudu a u elektrických strojů také smysl krouticího momentu a uhlové rychlosti. Kvadrantový systém se skládá ze čtyř kvadrantů, kde v prvním a třetím kvadrantu elektrický stroj pracuje v motorickém režimu a směr elektrické energie je ve směru od zdroje k zátěži.

Dále v druhém a čtvrtém kvadrantu motor pracuje v generatorickém režimu a směr elektrické energie je ve směru od zátěže ke zdroji, což představuje rekuperaci elektrické energie. Při generatorickém režimu motor vytváří opačný moment k směru otáček na hřídeli motoru. Vlivem setrvačných hmot jsou otáčky motoru záporné ve čtvrtém kvadrantu a kladné v druhém kvadrantu při opačném směru momentu. To představuje elektrické brždění setrvačných hmot a v důsledku toho se indukují ve vinutí kotvy proud opačné polarity a energie se vrací do sítě.



Obr. 1-14 Pracovní kvadranty provozu elektrických pohonů

Proto, aby bylo možno dosáhnout změny směru momentu nebo uhlové rychlosti, musí prvky výkonové elektroniky, kterými jsou dané motory napájeny, být schopné také pracovat v odpovídajících kvadrantech, ve kterých chceme provozovat motor.

Pro napájení stejnosměrných motorů se používají různé topologie měničů, převážně pak tyristorové řízené usměrňovače. Tyto měniče však neumožňují změnu výstupního proudu a umožňují pouze změnu výstupního napětí, protože jsou schopny pracovat v usměrňovačovém a invertorovém režimu [4]. Z Obr. 1-14 je zřejmé, že tyto usměrňovače umožňují jen dvou–kvadrantový provoz pohonů.

Pro čtyř–kvadrantový provoz je možno použít dvou–kvadrantového tyristorového měniče s realizací přepínání polarity proudu v obvodu kotvy nebo přepínání polarity proudu v obvodu buzení pomocí spínacích prvků s vhodnou spínací logikou [4]. Možností je také změna polarity budícího proudu v obvodu buzení.

Dalším způsobem je použití tranzistorových čtyř-kvadrantových měničů nebo antiparalelní zapojení dvou dvou-kvadrantových měničů, přičemž takováto topologie je označována jako dvou-měničové reverzační zapojení a rozděluje se dále do dvou skupin podle způsobů řízení viz další kapitoly. [3]

1.4.2 Reverzační měnič s okruhovými proudy

Využívají se dva antiparalelně zapojené měniče, které jsou provozovány ve stejném okamžiku a řídí se výstupním napětím měničů tak, aby rozdíl jejich středních hodnot byl nulový. Při reverzaci měnič pracující jako usměrňovač snižuje proud kotvy do nuly a následně přechází do invertorového režimu, čímž se vytváří proud v druhém měničích a hodnota tohoto proudu nesmí přesáhnout dovolených hodnot. Tím pádem se musí také sledovat napětí měniče a indukované napětí motoru. [4]

Nutnou podmínkou je rovnost velikosti středních hodnot usměrněného napětí obou antiparalelně zapojených měničů [4]:

$$U_{dMI} = -U_{dMII}, \quad (1-31)$$

$$U_{d0} \cdot \cos \alpha_{MI} + U_{d0} \cdot \cos \alpha_{MII} = 0, \quad (1-32)$$

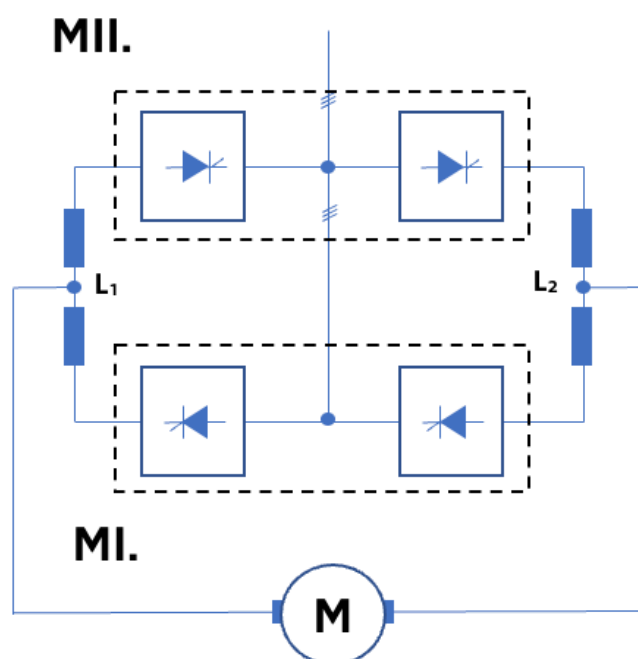
kde U_{d0} – střední hodnota usměrněného napětí při řídicím úhlu $\alpha = 0^\circ$.

Z rovnice 1-32 plyne, že pro řídicí úhly musí platit [4]:

$$\alpha_{MI} + \alpha_{MII} = \pi, \quad (1-33)$$

kde index u veličin X_{MI} nebo X_{MII} znamená příslušnost k danému měničích a římské označení určuje pořadové číslo měniče.

Vznikne však rozdíl okamžitých hodnot napětí měničů, který bude vytvářet okruhový proud. Okruhový proud se uzavírá mimo zátěž oběma měničích a pro jeho omezení se používají tlumivky v obvodu okruhového proudu [4]. Zapojení měniče s okruhovými proudy se využívá zejména kvůli jeho výhodě minimální prodlevy při reverzaci, naopak nevýhodou jsou okruhové proudy, které kladou vyšší nároky na použité měniče [3].



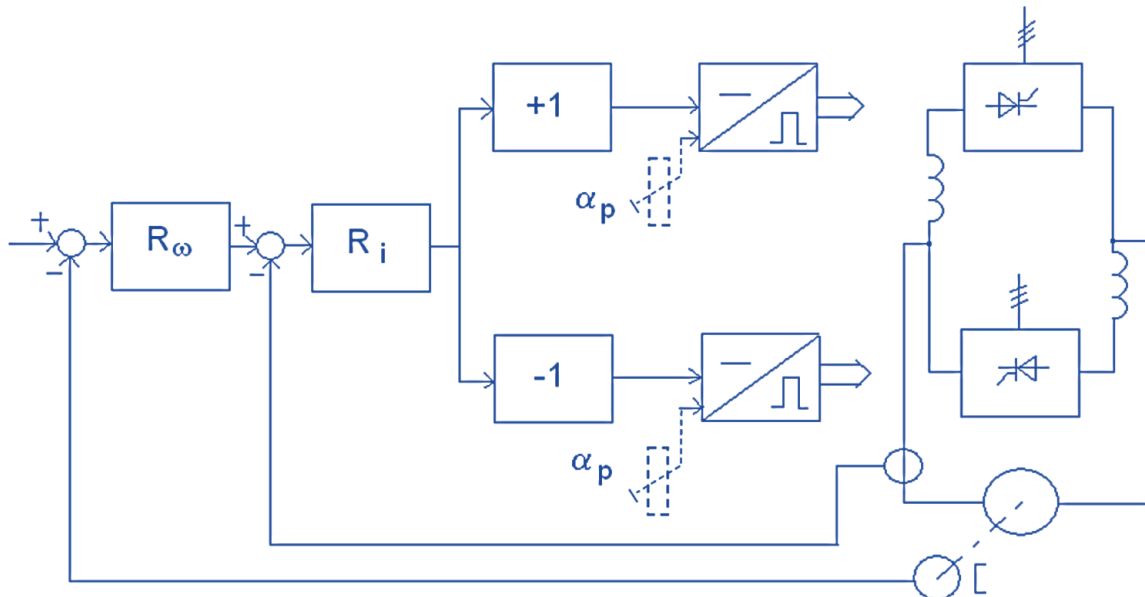
Obr. 1-15 Principiální zapojení reverzačního měniče s okruhovými proudy [4]

Na Obr. 1-16 je zobrazeno regulační schéma pohonů s využitím reverzačního měniče s okruhovými proudy s jedním regulátorem proudu. Toto schéma také umožňuje omezení okruhových proudů pomocí posunu zapalovacích impulsů blíže invertorového režimu měničů prostřednictvím potenciometrů nastavujících posun řídicího úhlu rovný úhlu α_p , pak pro řídicí úhly měničů platí [3]:

$$\alpha_{MI} + \alpha_{MII} = \pi + \alpha_p, \quad (1-34)$$

kde α_p – je posun řídicího úhlu.

Z tohoto důvodu pak dojde k omezení okruhových proudů, čímž jsme schopni zmenšit tlumivky v obvodu měniče, což je výhodné pro měniče velkých výkonů. Na druhou stranu se prodlouží čas reverzace [3].



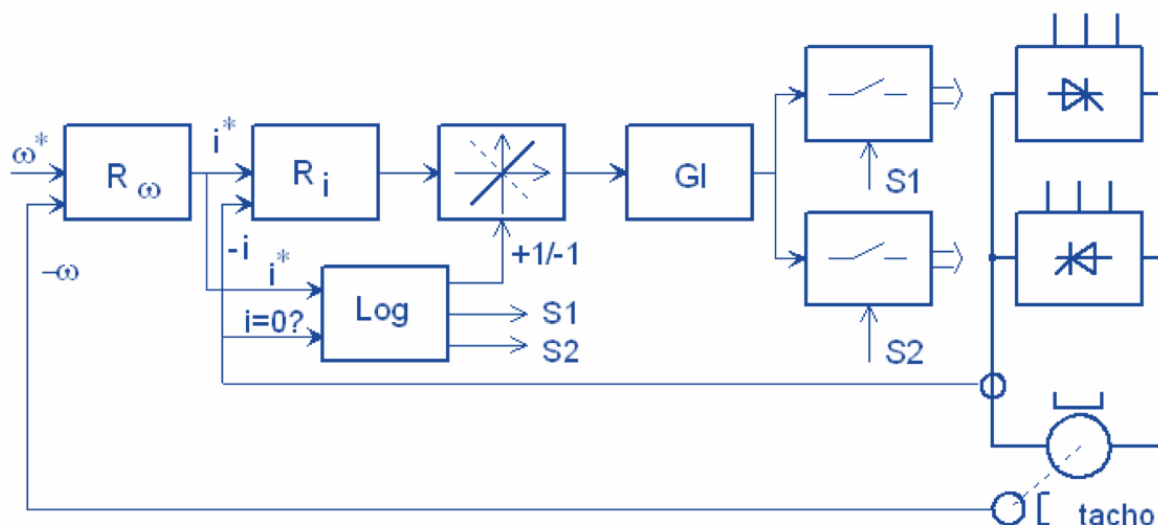
Obr. 1-16 Regulační struktura řízení pohonů s reverzačním měničem s okruhovými proudy s jedním regulátorem proudu [3](upraveno)

1.4.3 Reverzační měnič bez okruhových proudů

Co se týče principiálního schématu zapojení měničů to je totožné se schématem na Obr. 1-15. Rozdíl se uplatňuje v absenci tlumivek a způsobu řízení, z čeho rovněž vyplývají výhody daného měniče proti předcházejícímu způsobu s okruhovými proudy.

V tomto zapojení je řízen jen jeden měnič v daném okamžiku a druhý měnič má zablokované impulzy, což znamená, že nevede proud. V případě požadavků pro změnu polarity proudu musí dojít k zablokování řídicích impulzů prvního usměrňovače a k odblokování impulzů druhého, který byl dosud nečinný. Je nutné také brát v úvahu čas pro obnovení blokovacích schopností prvního měniče a to asi 1 ms, jinak by došlo ke zkratu [3].

Jedna z možných řídicích struktur pohonů s reverzačním měničem bez okruhových proudů je znázorněna na Obr. 1-17, kde je na pravé straně struktura antiparalelně zapojených měničů a k nim je připojený stejnosměrný motor. Měniče jsou pak řízené přes dvě spínací součástky S1 a S2, které připájejí pomocí logiky „Log“ jediný generátor řídicích impulzů k měničům. Tím se zabezpečí, že jeden měnič je vždy ve vypnutém stavu. Do spínací logiky vstupuje informace o žádané polaritě proudu z regulátorů otáček a zda proud klesl na nulovou hodnotu, aby mohlo dojít k přepnutí. Výstupem je informace pro zesilovač, který upraví výstup regulátorů proudu na hodnotu vhodnou pro daný měnič a spínací pulzy pro bezkontaktní spínače S1 a S2 [3].



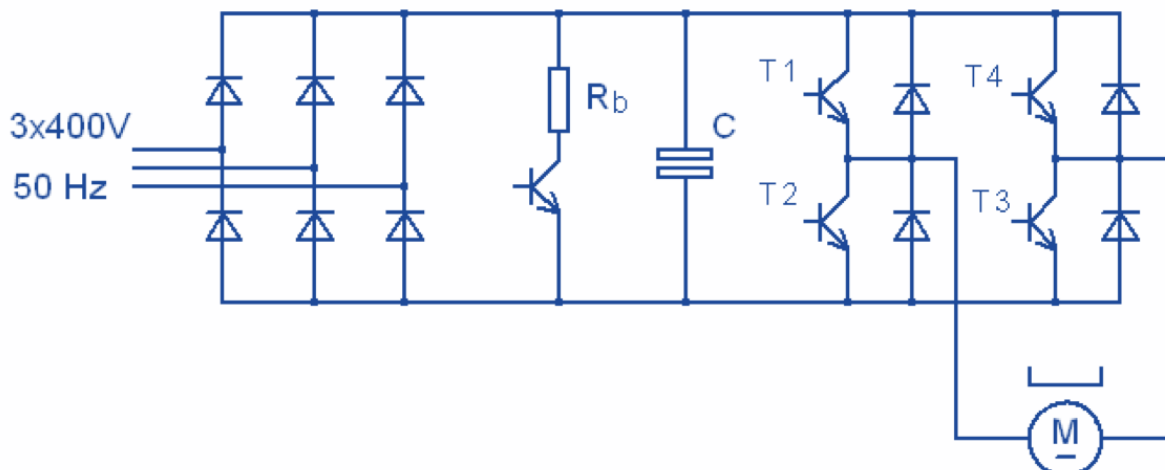
Obr. 1-17 Regulační struktura řízení pohonů s reverzačním měničem bez okruhových proudů s jedním regulátorem proudu [3]

Výhodou této struktury je menší složitost a nákladnost řídicího obvodu, protože postačuje jenom jeden generátor řídicích impulzů, a kvůli absenci okruhových proudů není nutno předdimenzovat měniče a použít tlumivky. Nevýhodou jsou prodlevy mezi přepnutím měniče a nespojitost momentu motoru [3].

1.4.4 Tranzistorový čtyř–kvadrantový pulsní měnič

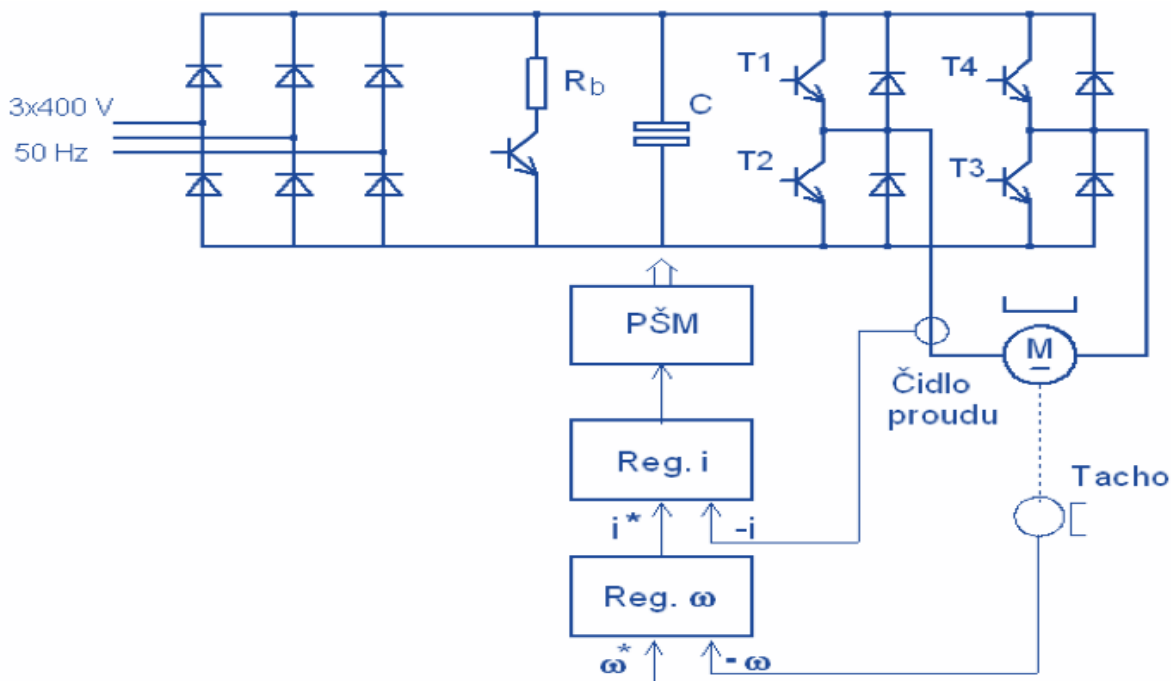
Tranzistorový měnič je schopný distribuovat obě polarity napětí a proudu, a tudíž oproti tyristorovým měničům není potřeba pro čtyř–kvadrantový provoz nutné antiparalelní zapojení dvou dvou–kvadrantových měničů.

Nevýhodou tohoto měniče je absence možnosti rekuperace elektrické energie zpátky do elektrické sítě z důvodů použití diodového usměrňovače, a tak se energie vrácená z pulzního měniče při brždění pohonů musí mařit ve stejnosměrném meziobvodu. Z tohoto důvodu je zařazen do stejnosměrného meziobvodu spínaný brzdový odpor. Zároveň se naskytuje možnost pro komplexnější průmyslové aplikace, kde jsou využity pohony pro více os. Umožňují napájet pohon některé osy energií vygenerované při brždění pohonu jiné osy [3].



Obr. 1-18 Zapojení čtyř–kvadrantového tranzistorového měniče [3]

Pro řízení tohoto měniče se využívá pulzně šířková modulace s dvěma způsoby řízení, a to unipolárním a bipolárním. Pak je pomocí bloku PWM realizována kaskádní regulační struktura s regulátorem proudu a nadřazeným otáčkovým regulátorem [3].



Obr. 1-19 Regulační struktura řízení pohonu s čtyř–kvadrantovým tranzistorovým měničem [3]

KAPITOLA 2: SINAMICS DC MASTER

2.1 Představení měniče

Měnič SINAMICS DC Master patří do nové generace Siemens DC měničů, přičemž tento měnič kombinuje silné stránky jeho předchůdce SIMOREG DC Master s výhodami měničů SINAMICS. Tento měnič je vybaven standardními funkcemi a nástroji svého předchůdce a zároveň poskytuje nové funkce a nástroje známé u AC technologii měničů SINAMICS pro DC technologie [9].

Standardní provedení měniče je s standardní řídicí jednotkou CUD, postačující pro základní aplikace. Také je poskytován s možností tuto standardní CUD doplnit pokročilou řídicí jednotkou, přičemž tak poskytuje dostatek výpočtového výkonu pro náročnější aplikace [9].

V měniči je integrovaný ovládací panel, který je možno nakonfigurovat ve dvou provedeních „Basic“ a „Advanced“. S využitím těchto panelů je možno měnič uvést do provozu a inicializovat základní nastavení a realizovat základní provoz měniče pro aplikace nenáročné na ovládaní [9].

Kromě ovládacího panelu a řídicí jednotky měnič disponuje I/O hardwarovým vybavením s možností doplnění dalších I/O terminálových modulů s velkým rozsahem škálování. Dalším doplňujícím modulem je CBE20, který danému měniči umožní komunikovat pomocí komunikačního protokolů PROFINET [9].



Obr. 2-1 Siemens měniče řady SINAMICS DCM [9]

2.1.1 Parametry zvoleného měniče

Parametry měniče jsou uvedeny v Tab. 2-1, které jsou důležité pro dimenzování jisticích prvků pracoviště, návrh silové části zapojení měniče a vychází z nich rozsah říditelných motorů.

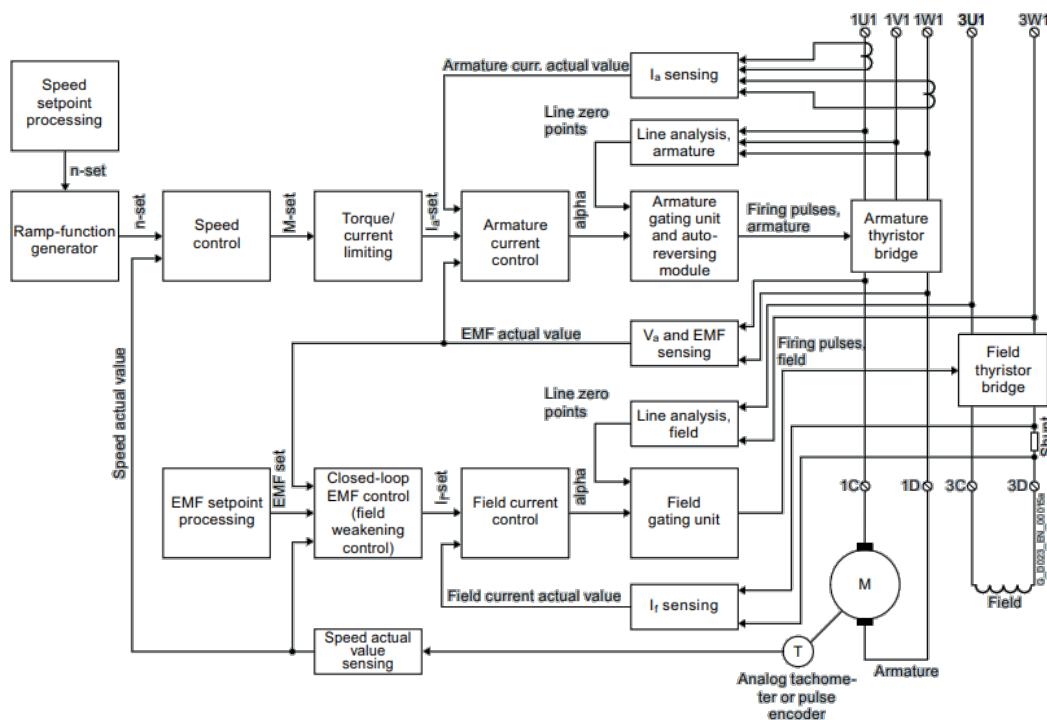
Tab. 2-1 Parametry měniče SINAMICS DC Master 6RA8018-6DV62-0AA0 [9]

Typ měniče	SINAMICS DC Master 6RA8018- 6DV62-0AA0 for four-quadrant operation	
Jmenovité napětí zdroje řídicí elektroniky	2 × (190 – 240) V AC při $I_n = 2$ A nebo 2 × (380 – 480) V AC při $I_n = 1$ A	
Jmenovitý výkon	12,6 kW	
Jmenovitá frekvence	45 – 65 Hz	
Dovolené přetížení	$1,8 \times I_n$	
	Kotevní obvod	Obvod buzení
Jmenovité napětí zdroje	3 × (50 – 400) V AC	2 × (50 – 400) V AC
Jmenovitý vstupní proud	25 A AC	–
Jmenovité výstupní napětí	420 V DC	325 V DC
Jmenovitý výstupní proud	30 A DC	5 A DC

2.2 Technologie řízení

Měnič SINAMICS DC Master je komplexním měničem kombinujícím řízení výkonu jak v otevřené tak i zpětnovazební řídicí smyčce [9]. Z pohledu přesné regulace veličin motorů je nejdůležitější zpětnovazební řízení. Proto v této podkapitole bude prezentována funkce „closed-loop control“ měniče pro kotevní a budící obvod.

Regulační struktura používaná v měniči SINAMICS DC Master je zobrazena na Obr. 2-2.



Obr. 2-2 Realizace regulační struktury v DCM měniči [9]

2.2.1 Setpointy a měřené veličiny pro zpětnovazební řízení

Požadavky otáček, momentu nebo proudu kotvy motoru jsou zadávány jako setpointy prostřednictvím zdrojů [9]:

- Analogových vstupů měniče v rozsahu 0 – 10 V, 0 – 20 mA, 4 – 20 mA,
- Digitální hodnoty prostřednictvím rozhraní PROFIBUS nebo Ethernet rozhraní pro komunikační protokol PROFINET,
- Integrovaného potenciometru,
- Sériové komunikace DCM měniče a dalších přídatných modulů.

Měnič SINAMICS DCM poskytuje taktéž funkce pro limitování těchto setpointů, parametrizovatelného filtru pro vyhlazení průběhu zadávaných požadavků a také generátor rampy, pomocí kterého když dojde ke skokové změně setpointu, tak zabezpečí vytvoření průběhu signálu přiváděného na vstup regulátoru s konstantní rychlostí náběhu. Tento generátor rampy je vybaven omezením prudkých změn na začátku a konci funkce rampy a také sadou parametrů, pomocí kterých jsme schopni zadávat čas náběhů a doběhů signálů nezávisle na sobě nebo přímo vyřadit tento generátor zadáním těchto parametrů na nulovou hodnotu [9].

Dalším z důležitých prvků je měření proudu v případě podřízené proudové smyčky a přímé regulace proudu motorů nebo měření skutečných otáček motorů pro regulátory otáček a momentu [9].

Pro realizaci proudové zpětné vazby je měnič vybaven proudovým transformátorem na třífázové straně, který přenáší aktuální hodnotu proudu v kotevním obvodu do regulátoru proudu [9].

V případě snímání aktuální hodnoty otáček motorů se můžou využít následující prostředky, se kterými je měnič kompatibilní [9]:

- Analogové dynamo s výstupním napětím v rozsahu od 8 – 270 V při maximální rychlosti motoru
- Inkrementální enkodér
- Provoz bez snímání otáček se snímáním EMF
- Jakýkoli jiný prostředek pro měření otáček – tento způsob se využívá pro snímání otáček z jiných modulů například jako matematické modely nebo prediktivní systémy.

2.2.2 Rychlostní a proudové regulátory a regulace momentu

Z Obr. 2-2 je zřejmé, že řídicí struktura měniče je implementována jako kaskádní řídicí struktura s podřízenou proudovou smyčkou v kotevním obvodu motoru. Řídicí obvod buzení je implementován jako zpětnovazební proudový regulátor s předřazeným modulem, který generuje setpoint budicího proudu na základě EMF setpointu, EMF aktuální hodnoty a skutečné rychlosti motoru [9].

Otáčkový regulátor porovnává žádanou a skutečnou hodnotu a na základě regulační odchylky generuje proudový nebo momentový setpoint. Tento regulátor je konstruován jako PI regulátor s možností přídatné D složky. Zesílení regulátoru resp. P složka a časové konstanty resp. I a D složka jsou nastavovány nezávisle na sobě a také je možno využít předkorekci zesílení P složky regulátoru na základě provozních hodnot motoru a tak s výhodou pozitivně ovlivňovat dynamiku aplikace [9].

Otáčkový regulátor je možno vyřadit a zadávat přímo setpoint momentu a tím pádem realizovat přímou momentovou regulaci pohonů [9].

Proudové regulátory jsou implementovány jako PI regulátor s možností parametrizace. Tím pádem je možno tyto regulátory provozovat také jako samostatné P nebo I regulátory. Do regulátorů proudu vstupuje žádaná hodnota proudu z výstupu otáčkového nebo momentového regulátoru a produkuje signál pro generátor impulzů řízených můstkových usměrňovačů kotevního obvodu. Rovněž tomu tak je pro obvod buzení na základě výstupu z předřazeného modulu [9].

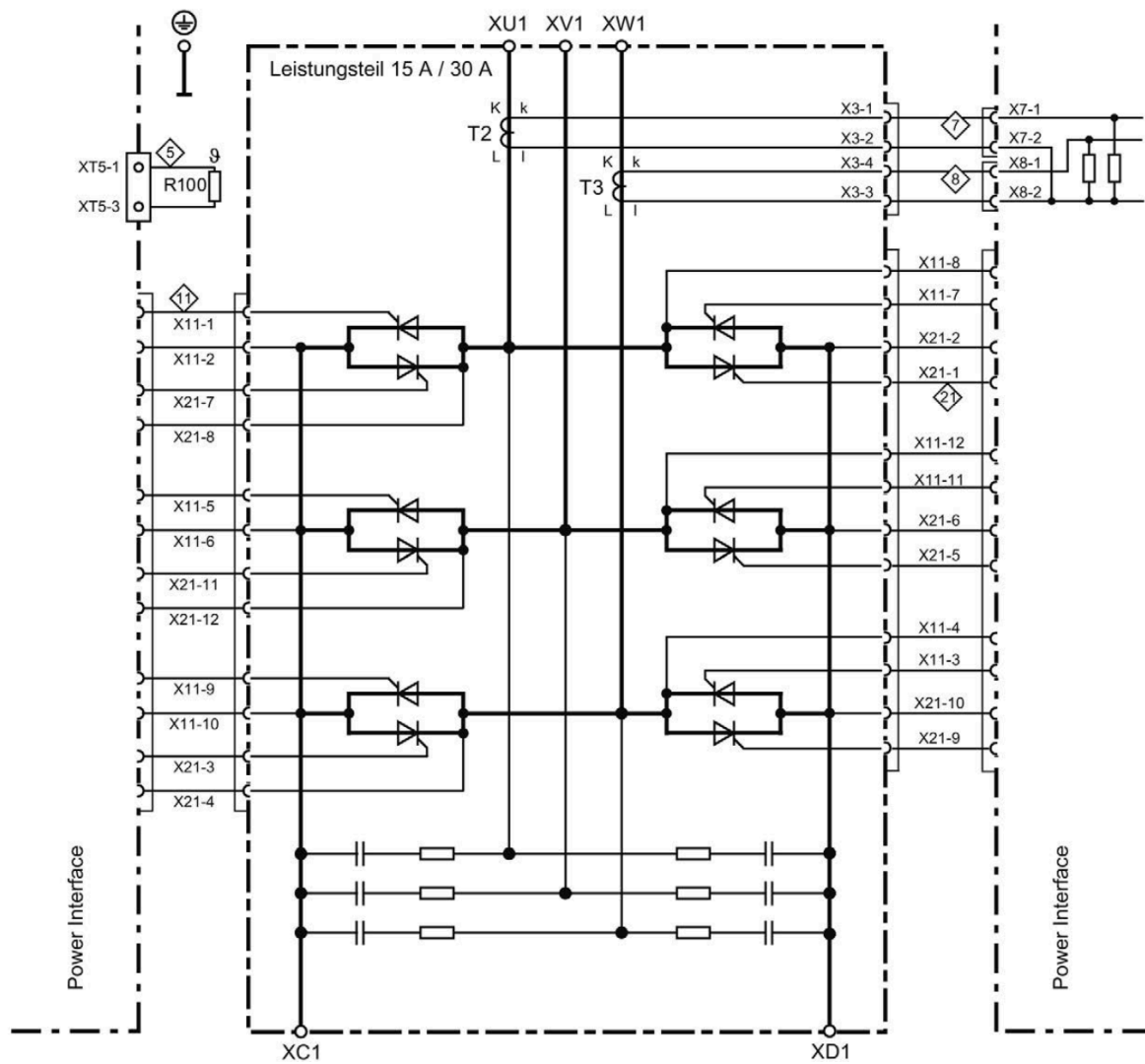
2.2.3 Ostatní funkce regulační struktury

Další doplňkovou funkcí důležitou pro čtyř-kvadrantový provoz je „Auto-reversing module“. Tento modul zabezpečuje logickou sekvenci změny všech parametrů řízení potřebnou pro změnu smyslu momentu a otáček stroje. Pomocí tohoto modulu je možno změnit směr otáčení a smysl momentu [9].

Měnič také obsahuje saturační prvky pro limitaci momentu motoru a proudu kotvy, které je možno měnit pomocí parametrů měniče nebo přidělení proměnných pomocí sériové komunikace. U limitace proudu kotvy je zahrnuta taktéž ochrana tyristorů proti nedovolenému oteplení součástí s provedením omezení proudu nebo úplného odstavení systémů [9].

2.3 Topologie obvodu výkonové části

V případě měniče SINAMICS DC Master používaném v navrhovaném pracovišti je použita topologie tyristorového reverzačního měniče s můstkovým antiparalelním zapojením.



Obr. 2-3 Zapojení výkonové části DCM měniče [9]

KAPITOLA 3: NÁVRH PRACOVIŠTĚ S DCM MĚNIČEM

Tato kapitola se věnuje hardwarovému sestavení pracoviště s měničem DC Master a zahrnuje dimenzování parametrů a výběr komponentů, optimální návrh a uložení komponentů ve formě mobilního vozíků, který by měl vylepšit manipulaci se zařízením a rozsah použití řídicího systému pro více motorů. Dále se také věnuje návrhu silového a ovládacího rozvodu, tj. sestavení napájecího a ovládacího zapojení celého pracoviště.

3.1 Výběr a dimenzování komponentů

3.1.1 Síťové pojistky a pojistka na stejnosměrné straně měniče

Implementace pojistek do konfigurace pracoviště byla zapracována z důvodů ochrany daného pracoviště a obsluhy pracoviště při vzniku případné poruchy na zařízení a vycházelo se z výpočtu, které se porovnali se základním doporučením podle katalogů firmy Siemens daného měniče.

Pojistky pro dané zapojení byly vybírány na základě ustáleného provozního proudu a napětí na AC straně, tzn. na napájecí straně a DC straně měniče, který představuje stranu zátěže. Pojistka na DC straně je důležitá pro provoz ve čtyř-kvadrantovém režimu [9]. Od proudu tekoucímu ze sítě a na výstupu měniče se také odvíjel typ pojistky ve smyslu charakteru a nominální hodnoty proudu, na které byly dimenzovány.

Dále také byla vzata do úvahy teplota okolí pojistek při provozu DCM pracoviště, kde se předpokládalo, že zapojení bude umístěno v prostorách s pokojovou teplotou 25 °C. Kdyby se teplota okolí pojistek měnila o ± 15 °C, tak by se měnil původní koeficient násobení proudu o ± 15 %. V našem případě uvažujeme teplotu okolí 25 °C, takže násobíme jištěný proud základním koeficientem 135 % [6].

Pro jištění kotevního obvodu měniče DC Master připojeného na síť 3 × 400 V AC s provozním jmenovitým proudem $I_{NAC} = 25$ A byly vybrány třífázové pojistky dimenzované na jmenovitý proud podle vztahu [6]:

$$I_{NFa} = I_{NAC} \cdot 1,35 = 33,75 \text{ A.} \quad (3-1)$$

Pro obvod buzení s jmenovitým proudem $I_{Nf} = 5$ A:

$$I_{NFf} = I_{Nf} \cdot 1,35 = 6,75 \text{ A.} \quad (3-2)$$

Pro výstupní DC stranu, kde měnič dodává DC proud $I_{NDC} = 30$ A:

$$I_{NFDC} = I_{NDC} \cdot 1,35 = 40,5 \text{ A.} \quad (3-3)$$

kde I_{NFa} , I_{NFf} , I_{NFDC} je jmenovitý proud pojistek, resp. proud na který jsou pojistky dimenzovány a I_{NACa} , I_{NACf} , I_{NDC} je jištěný proud.

Napěťová hladina pojistek by se měla volit vyšší, než je referenční napěťová hladina, do které je pojistka zapojená. Pojistky se navrhují na základě proudu a toto napěťové kritérium je zohledněno jen při výběru pojistek [6].

Pro porovnání výsledků s doporučením firmy Siemens pro daný typ měniče je uvedena tabulka:

Tab. 3-1 Doporučené typy pojistek pro měnič DCM 400 V 30 A [9]

Typ pojistek	3f. pojistka kotevního obvodu I/U [A/V]	Pojistka obvodu buzení I [A]	DC pojistka I/U [A/V]
Jmenovité hodnoty pojistek	35/690	10	40/1000
Označení pojistek z řady SINAMICS DCM package	3NE8003-1	3NC1410	3NE4102

3.1.2 Třífázové vstupní tlumivky

Mnoho měničů malých výkonů používají pro AC/DC převod napětí a proudu jednoduchý obvod založený na vstupním usměrňovači s vyhlazovacím kondenzátorem v DC meziobvodu. Tato topologie vede ke zvýšení efektivní hodnoty na vstupu měniče vlivem harmonického proudu a celkovému harmonickému zkreslení vstupního proudu měniče. Proto se zavádí různá opatření [10]. V tomto případě jsou použity vstupní třífázové tlumivky.

Běžně se využívají vstupní tlumivky pro napájení měniče s proměnnou frekvencí s impedancí v rozmezí 3 % až 5 % z fiktivní impedance stanovené poměrem napětí a proudu na AC vstupu měniče. Při 3 % impedanci tlumivky se dosáhne ochrany měniče před rušením napájecího vedení (přepětí, napětíové špičky aj.), které by mělo nepříjemný vliv na chod měniče. Na druhé straně tlumivky také snižují účinek vyšších harmonických generovaných měničem, které mohou proniknout zpátky do sítě [10].

Pětiprocentní tlumivky zahrnují všechny předcházející výhody doplněné o maximální snížení rušení důsledkem vyšších harmonických, na které jsou určitá zařízení v instalaci citlivá. Také tím dosáhneme snížení provozní teploty a hluku motoru napájeného měničem [10].

V našem návrhu budeme používat 4 % impedanci tlumivky kvůli poskytovaným tlumivkám od firmy Siemens k danému měniči a z důvodů porovnání vypočtených hodnot parametrů s hodnotami doporučenými katalogem Siemens.

Dimenzování tlumivky se provedlo následujícím způsobem. Měnič je napájen ze zdroje s napětím 400 V a frekvencí 50 Hz, výstupní stejnosměrný proud dosahuje hodnotu $I_{NDC} = 30$ A, podle [9] proud na AC straně je dán:

$$I_{NAC} = 0,82 \cdot I_{NDC} = 24,6 \text{ A} \doteq 25 \text{ A}, \quad (3-4)$$

kde I_{NAC} je hodnota proudu na AC straně měniče při jmenovitém proudu na DC straně I_{NDC} . Tuto hodnotu proudu pak dosadíme do vztahu pro indukčnost tlumivky L_a podle [10]:

$$L_a = \frac{Z_{\%} \cdot U_s}{I_{NAC} \cdot 2\pi \cdot f \cdot \sqrt{3}} = 1,19 \text{ mH}, \quad (3-5)$$

kde $Z_{\%}$ je procentuální impedance tlumivky z fiktivní impedance napájecí části, f je frekvence napájecí sítě, U_s sdružené napětí sítě.

Dále je nutno spočítat vstupní tlumivku obvodu buzení s jmenovitým proudem $I_{Nf} = 5$ A [10]:

$$L_f = \frac{Z_{\%} \cdot U_s}{I_{Nf} \cdot 2\pi \cdot f \cdot \sqrt{3}} = 5,88 \text{ mH}. \quad (3-6)$$

V případě zapojení se společným zdrojem pro obvod kotvy motoru a obvod buzení se však vyžaduje dimenzovat vstupní tlumivku pro oba obvody najednou a vychází se ze součtu proudu pro buzení a kotvy motoru násobeným koeficientem 0,82 podle [9].

Proud odebíraný ze sítě při tomto zapojení bude [9]:

$$I_{NAC} = (I_{NDC} + I_{Nf}) \cdot 0,82 = 28,7 \text{ A} \quad (3-7)$$

Pak pro impedanci tlumivky podle [10] platí:

$$L_{af} = \frac{Z \cdot U_s}{I_{AC} \cdot 2\pi \cdot f \cdot \sqrt{3}} = 1,025 \text{ mH}. \quad (3-8)$$

Společnost Siemens poskytuje vstupní tří-fázové tlumivky výpočtem podle napětí nakrátko $u_k = 4 \%$, přičemž bychom se tímto způsobem dostali ke stejnému výsledku jako v předchozím případě [11]:

$$u_k = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{NAC} \cdot X}{U_s}, \quad (3-9)$$

kde po dosazení za reaktanci tlumivky $X = \omega L = 2\pi fL$ dostaneme vztah:

$$u_k = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{NAC} \cdot 2\pi \cdot f \cdot L}{U_s}. \quad (3-10)$$

Výsledný vztah pro indukčnost vstupní tlumivky bude:

$$L = \frac{u_k \cdot U_s}{I_{NAC} \cdot 2\pi \cdot f \cdot \sqrt{3}}. \quad (3-11)$$

3.1.3 Vyhlazovací tlumivka na straně DC motoru

Starší pohony disponují takovým konstrukčním omezením, že pro jejich funkčnost je požadováno maximální zvlnění vstupního DC proudu v rozsahu max. 10 %. U novějších pohonů se toto omezení pohybuje v rozmezí okolo 30 %. Což znamená, že potřebujeme zařadit mezi výstup DCM měniče a vstup motoru ještě vyhlazovací indukčnost, abychom splnili tento konstrukční limit a zabezpečili správnou funkčnost motoru [7].

Z tohoto důvodu jsme vybrali a zařadili mezi motor a DC stranu měniče tlumivku o indukčnosti 2 mH.

3.2 Topologie, napájecí a ovládací zapojení pracoviště

3.2.1 Principiální zapojení silové části pracoviště

Při návrhu byli vypracovaný dvě schémata zapojení silové části pracoviště a uvažovali se dvě neoptimálnější způsoby zapojení, a to připojení silových obvodů na jeden napájecí zdroj a připojení řídicích prvků na druhý napájecí zdroj. Druhou variantou je, že silové obvody jsou napájeny ze separátních zdrojů. Další možné způsoby zapojení se neuvažují, protože by byl vyžadován další modul pro napájení elektronických obvodů měniče stejnosměrným napětím o hladině 24 V.

V první variantě zapojení používáme dva zdroje elektrické energie a to třífázový napájecí zdroj o napětí 3×400 V, ze kterého jsou napájeny obvody kotvy a buzení. Druhým zdrojem je zdroj o napětí 1×230 V pro napájení PLC a řídicí elektroniky měniče.

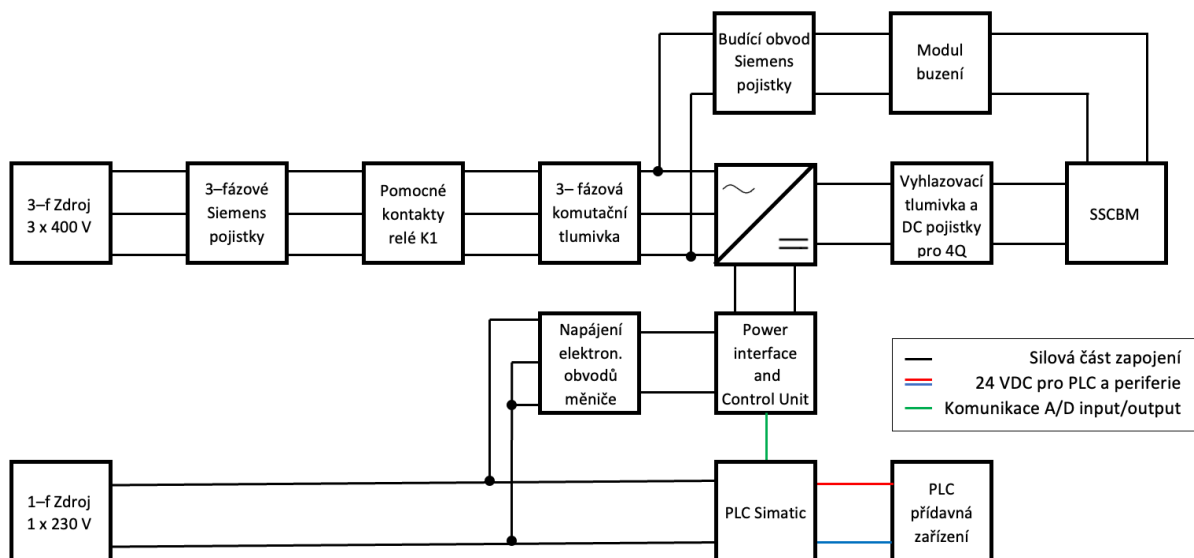
Za napájecím zdrojem obvodu kotvy a buzení pak následují síťové pojistky pro ochranu před nadproudem a také připojovací relé. Tím se zabezpečí, že silová část bude přístupná až po zapnutí PLC.

V tomto případě jsou síťové pojistky zapojené před relé dimenzovány pro střídavý proud, který je dán součtem DC proudu na výstupu obvodu buzení a obvodu kotvy motoru násobenému koeficientem 0,82 podle vztahu 3-7, čímž se dosáhne velikost proudu odebíraného ze sítě. Obvod buzení pak musí být jištěný samostatně a tyto pojistky jsou dimenzovány jen pro hodnotu nominálního proudu obvodu buzení [9].

Stejně jako síťové pojistky je tlumivka dimenzována podle proudu ze vztahu 3-7, protože obvod kotvy a buzení je napájený z jedné sítě. Obvod buzení je pak zapojen za touto tlumivkou mezi dvě fáze.

K síti 1×230 V jsou pak připojena napájení elektronických obvodů měniče a PLC.

Na výstup měniče je připojen DC motor přes vyhlazovací tlumivku, která je nutná z důvodu konstrukce starších motorů a snižuje zvlnění proudu jak je popsáno ve stati 3.1.3, a také DC pojistka kvůli provozu v čtyř-kvadrantovém režimu.



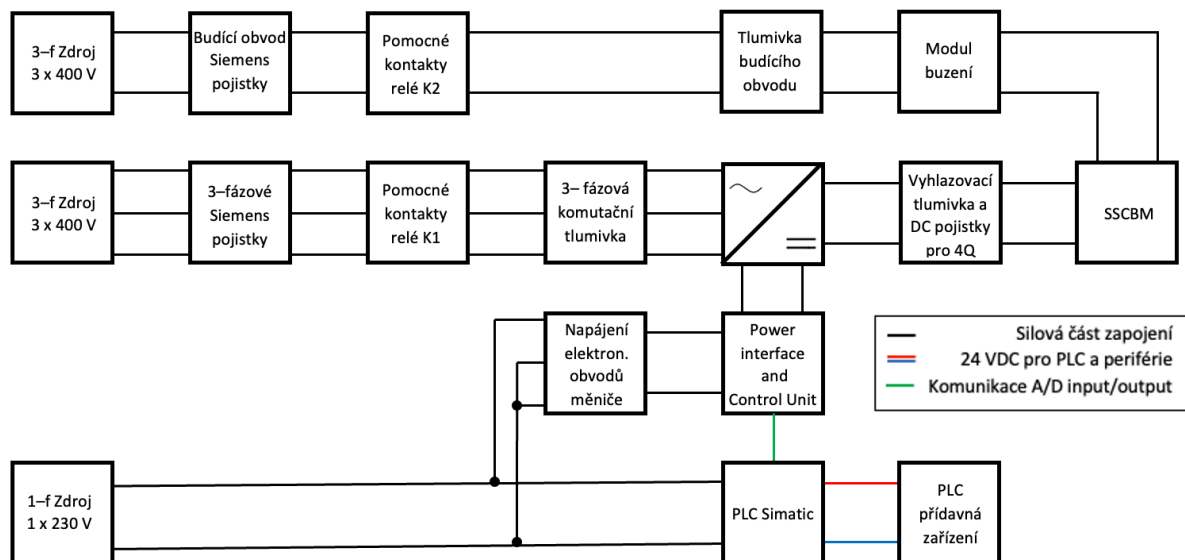
Obr. 3-1 Blokové schéma zapojení DCM pracoviště při zapojení měniče z jednoho zdroje

Alternativní zapojení pracoviště s DCM měničem uvažujeme jako zapojení budicího obvodu a obvodu kotvy z oddělených zdrojů elektrické energie o napětí 3×400 V. Obvod kotvy je připojený trojfázově a obvod buzení mezi dvě fáze napájecího zdroje.

V tomto případě jsou tlumivky obou obvodů dimenzovány samostatně podle nominálních proudů těchto obvodů podle vztahů 3-5 a 3-6. Oba obvody jsou v takovémto zapojení jistěny samostatně.

Samostatně budou realizovány také stykače nebo relé obou obvodů, aby se mohly eliminovat případné stavy, ve kterých by se požadoval moment nenabuzeného motoru.

Ostatní části zapojení, zejména komponenty zapojené na výstupní straně obvodů kotvy, obvodu buzení a ovládací část zůstaly beze změny. To znamená, že ovládací část je napájena z jednoho zdroje el. energie o napětí 1×230 V, kde jsou připojeny PLC a elektronické obvody měniče.



Obr. 3-2 Blokové schéma zapojení DCM pracoviště při zapojení měniče ze samostatných zdrojů

3.2.2 Principiální schéma ovládací části

Pro řízení ovládací logiky celého systému se používá PLC SIMATIC S7-1200 s procesorem s označením 1212C, které obsahuje 8 digitálních vstupů, 6 digitálních výstupů, 2 analogové vstupy a 0 analogových výstupů. Kvůli implementaci analogového zadávání setpointů z PLC do CUD jednotky měniče bychom museli k PLC přiřadit modul analogových výstupů. Díky možnosti propojit řídicí jednotku měniče CUD s PLC prostřednictvím PROFINET komunikačního protokolu jsme schopni posílat žádané hodnoty do měniče tímto způsobem, čímž se eliminuje přídatný modul.

Pro řízení pohonu se použije řídicí jednotka měniče CUD, na které se bude realizovat řízení pohonů v zpětnovazební smyčce. PLC bude propojeno s touto jednotkou zejména digitálními, analogovými vstupy a výstupy a komunikací prostřednictvím kanálu PROFINET. Tímto způsobem je definováno PLC jako hlavní ovládací prvek a CUD jako řídicí prvek aplikace.

Jak můžeme vidět z blokového zapojení na Obr. 3-3, tak ruční zadávání setpointů momentu a budícího proudu je realizováno pomocí potenciometrů připojených na analogové vstupy PLC. Takovéto ruční ovládání je zařazeno z důvodů větší citlivosti zadávání žádaných hodnot. Druhá možnost zadávání setpointů bude realizována pomocí HMI panelu. Tyto setpointy se pak podle toho, jakým způsobem budou zadány, přenesou do řídicí jednotky.

Na digitální výstupy PLC je připojena signalizace a také jsou propojeny s digitálními vstupy CUD, které pak ovládá zapínací relé. Na CUD v části „Power interface“ jsou na svorky XR1 připojeny spínací relé pro kotevní obvod a pro budící obvod. Dále jsou na CUD v části „Power interface“ připojena čidla teploty a čidla stavu pojistek kvůli diagnostice.

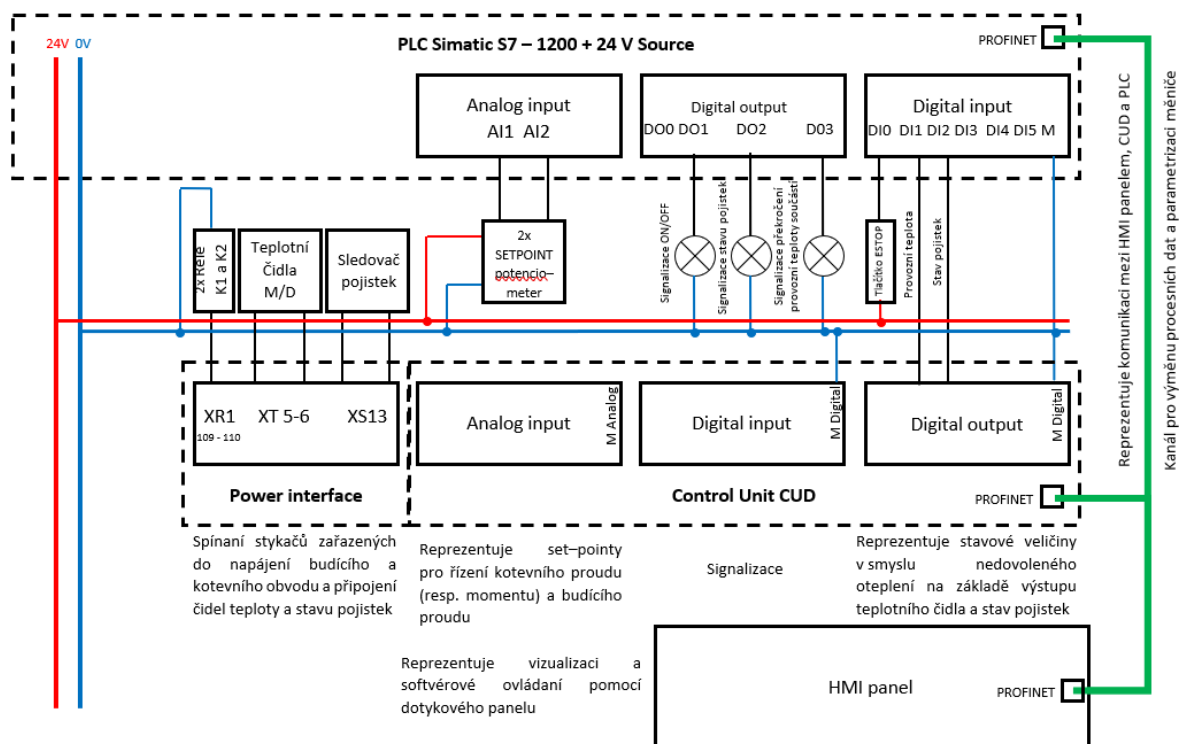
Relé jsou připojena za pojistky síťových zdrojů kotevního a budícího silového obvodu. Tím se zabezpečí, že pokud PLC nebude zapnuto a nesepe elektromagnetická relé, tak silová část aplikace bude nečinná. Propojení je možné napřímo přes digitální vstupy PLC nebo přes řídicí jednotku měniče. Druhý způsob zapojení relé má výhodu, že v CUD je realizovaná funkce hlídání proudu v napájecích obvodech a jsme schopni relé spínat v bezproudovém okamžiku.

Na digitální vstupy PLC je připojeno bezpečnostní tlačítko, díky kterému lze celou aplikaci ihned odstavit. Dále jsou na digitální vstupy PLC připojeny digitální výstupy z CUD, které přenášejí binární údaje o poruše pro sledování stavu pojistek, oteplení měniče nebo motoru do PLC a bude možno realizovat odstavení provozu.

Tímto způsobem bude jednodušší rozlišit, kde v aplikaci nastala chyba, případně jaké součástky se mají vyměnit nebo jaká přijmout opatření.

Prostřednictvím PROFINET komunikace mezi CUD a PLC budou předávány procesní údaje například o velikosti aktuálního proudu v kotevním a budícím obvodu, také velikost elektromagnetického momentu apod.

Další důležitou částí ovládacího zapojení je HMI panel, kde se předpokládá realizace vizualizace důležitých stavových parametrů aplikace a uživatelského rozhraní. To znamená, že díky tomuto displeji bude zabezpečena možnost kompletního ovládacího celého systému. Dále bude také umožněno zadávání žádaných hodnot pro řízení, přičemž by se mohlo vzájemně ovlivňovat zadávání setpointů s ručním analogovým zadáváním, proto bude zavedena také možnost volby zadávání setpointů přes dotykový displej a ručně.



Obr. 3-3 Blokové zapojení ovládací části DCM pracoviště

3.2.3 Model vozíku a topologické uspořádání komponentů pracoviště

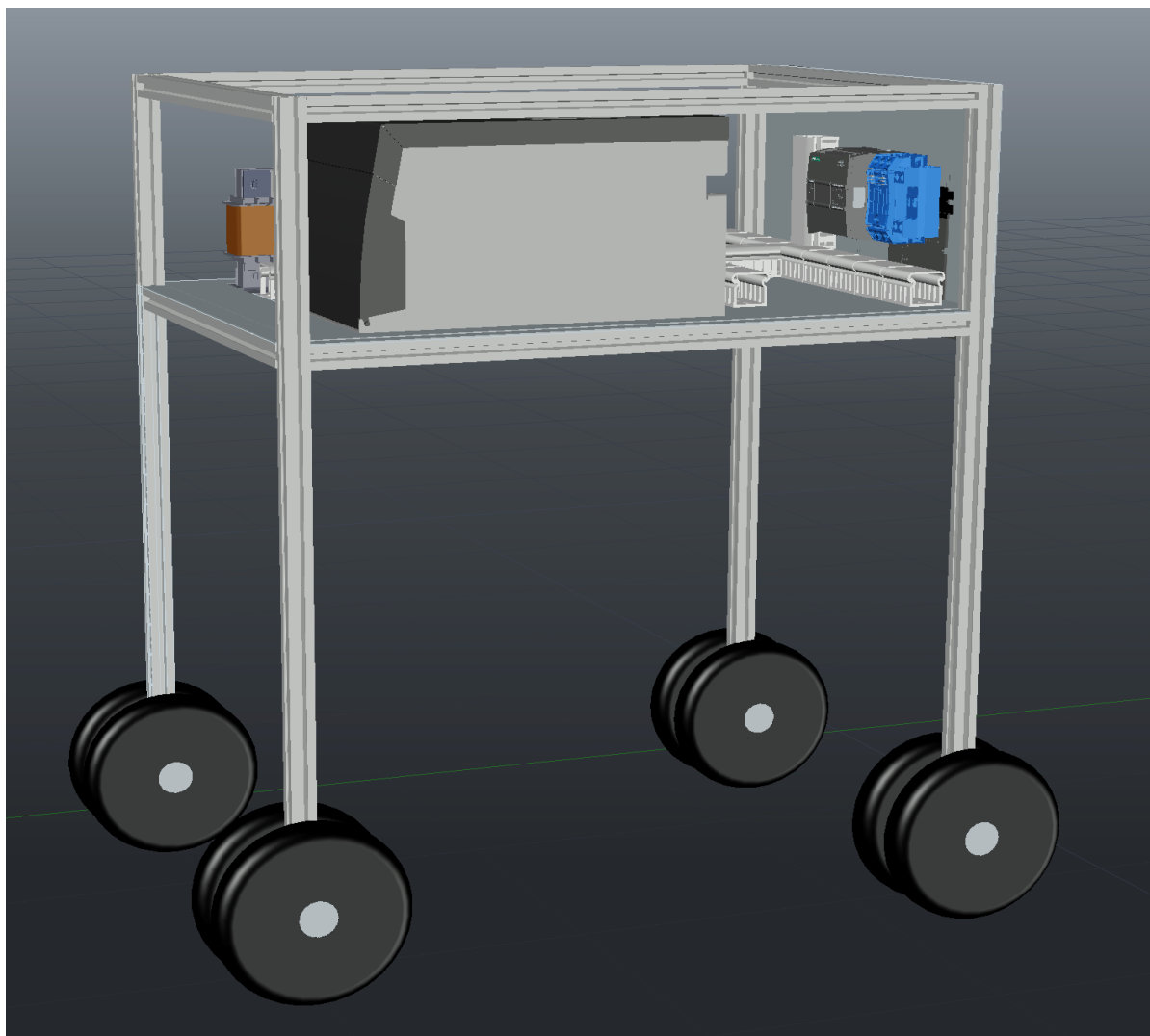
V této kapitole je znázorněno rozložení jednotlivých komponentů na modelu vozíku, ve kterém je implementováno pracoviště s měničem DC Master. Celková koncepce mobilního vozíku je zvolena z důvodu kompaktnosti, aby se pracoviště mohlo používat pro více typů stejnosměrných strojů. Uvažuje se, že vozík je konstruován z průmyslových profilů kvůli jednoduché montáži, případně realizaci pozdější dostavby pracoviště a dalšího rozšiřování. Celkový pohled na model vozíku je znázorněn na Obr. 3-4.

Vozík se skládá z jednoho patra, kde jsou umístěny vyhlazovací tlumivky, DCM měnič, PLC a jednotlivá elektromagnetická relé pro jednotlivé obvody a pohled na tuto část je znázorněn na Obr. 3-6. Zvenčí je pak na stěně tohoto prvního patra umístěno pohotovostní vypínací tlačítko a rozváděcí skříň, ve kterých jsou umístěny komponenty jištění obvodu kotvy a buzení a budou rozděleny na dvě části. Vstupní část, kde se realizuje rozvod napájení obvodu kotvy, buzení a PLC a výstupní část, ze které se bude napájet stejnosměrný motor.

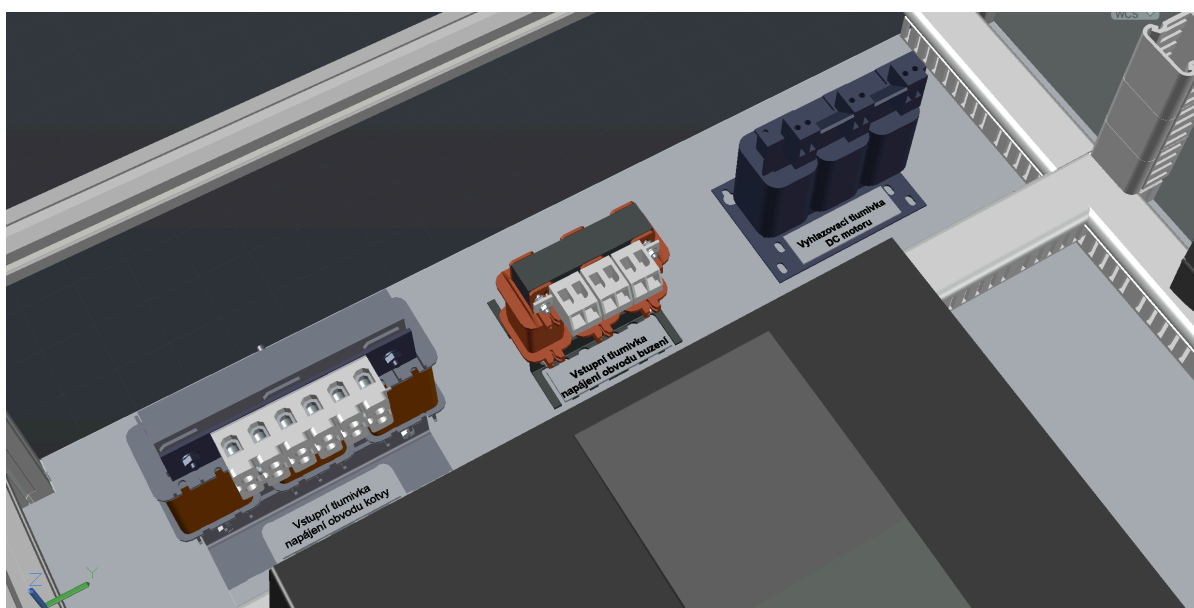
Na této stěně je také umístěno zavěšení pro ovládací panel, kterým bude možno manipulovat a přemísťovat dle potřeby. Toto rozložení můžeme vidět na Obr. 3-7. Zobrazené opatření reprezentuje jedno z mnoha způsobů uložení ovládacího panelu a reálné opatření bude záviset od skutečné realizace vozíku.

Pro silové a signální kabely jsou umístěné rozváděcí uzavřené cesty, kterými se budou rozvádět kabely k jednotlivým komponentům. Tyto cesty jsou vedeny od okraje prvního patra, kde se budou přivádět napájecí kabely k PLC a napájecí kabely přes tlumivky do měniče a stejnou cestou bude vyvedený výstupní kabel pro napájení DC motoru. Cesty jsou vedeny tak aby bylo možné propojit navzájem všechny potřebné komponenty.

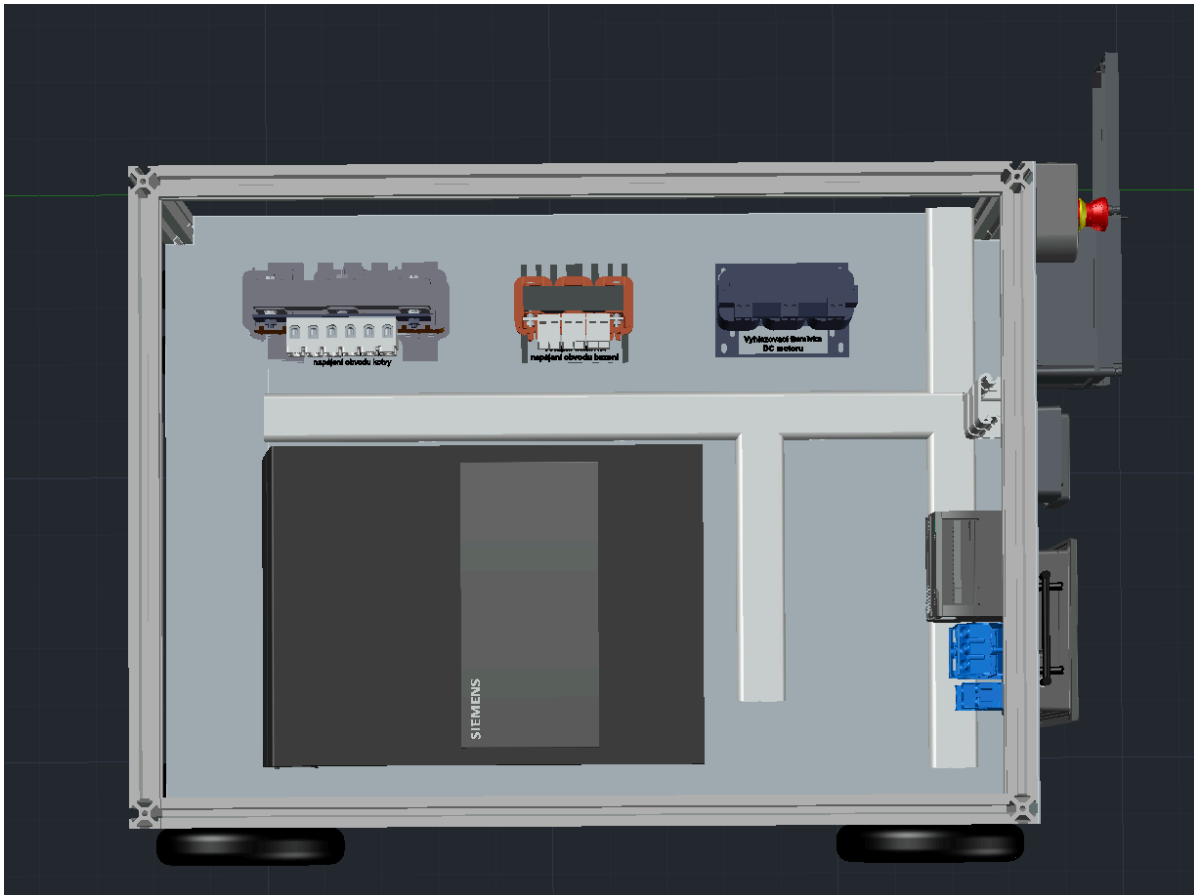
Při prvotním návrhu je dbáno na optimální rozložení vyhlazovacích tlumivek pro obvody kotvy a buzení tak, aby byly co nejbližší měniči a zabránilo se dalšímu zvlnění proudu případnou rezonancí vlivem velké délky kabelů. Rovněž měnič, PLC a odpojovací elektromagnetické relé jsou umístěny tak, aby bylo možno realizovat co nejoptimálnější cesty ovládacích kabelů. Z tohoto důvodu je zvoleno vzájemné rozložení tlumivek a měniče tak, jak je zobrazeno na Obr. 3-5.



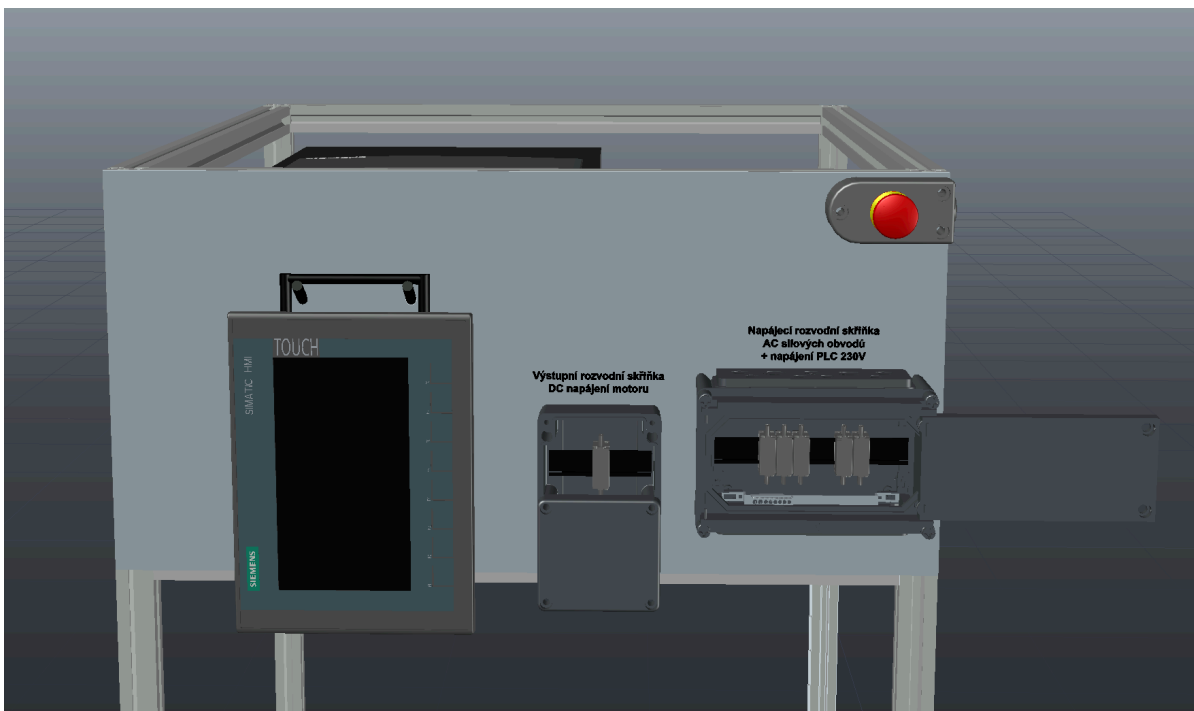
Obr. 3-4 Model vozíku DCM pracoviště



Obr. 3-5 Rozložení a popis vstupních a výstupních tlumivek



Obr. 3-6 Rozložení komponentů DCM pracoviště



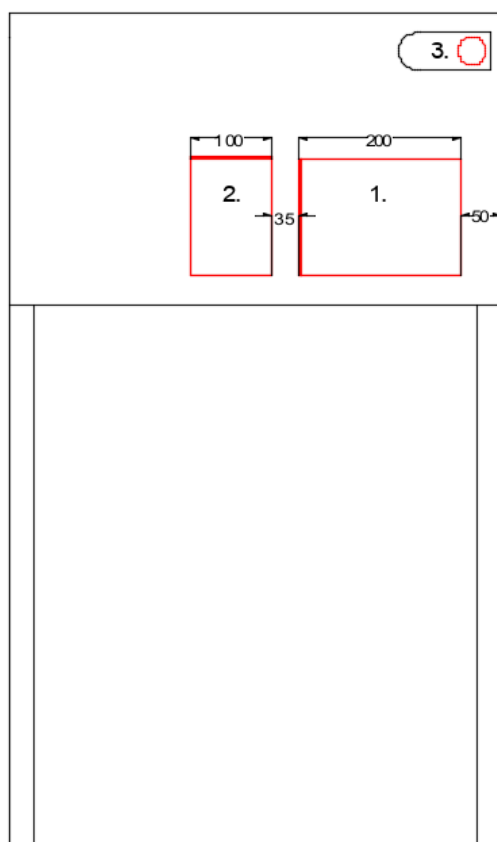
Obr. 3-7 Pohled na rozvodni skříňě pracoviště, uchycení ovládacího panelu a pohotovostní tlačítko

3.3 Návrh a rozměry konstrukce pracoviště

Poslední fází v návrhu vozíku bylo vypracovat rozměrový výkres s rozložením komponentů celého pracoviště na vozíku a rozměru samotného vozíku, přičemž se při návrhu rozměrů vycházelo z topologie určené v předchozí kapitole a z rozměrů komponentů.

Tab. 3-2 Rozměry použitých komponentů pracoviště

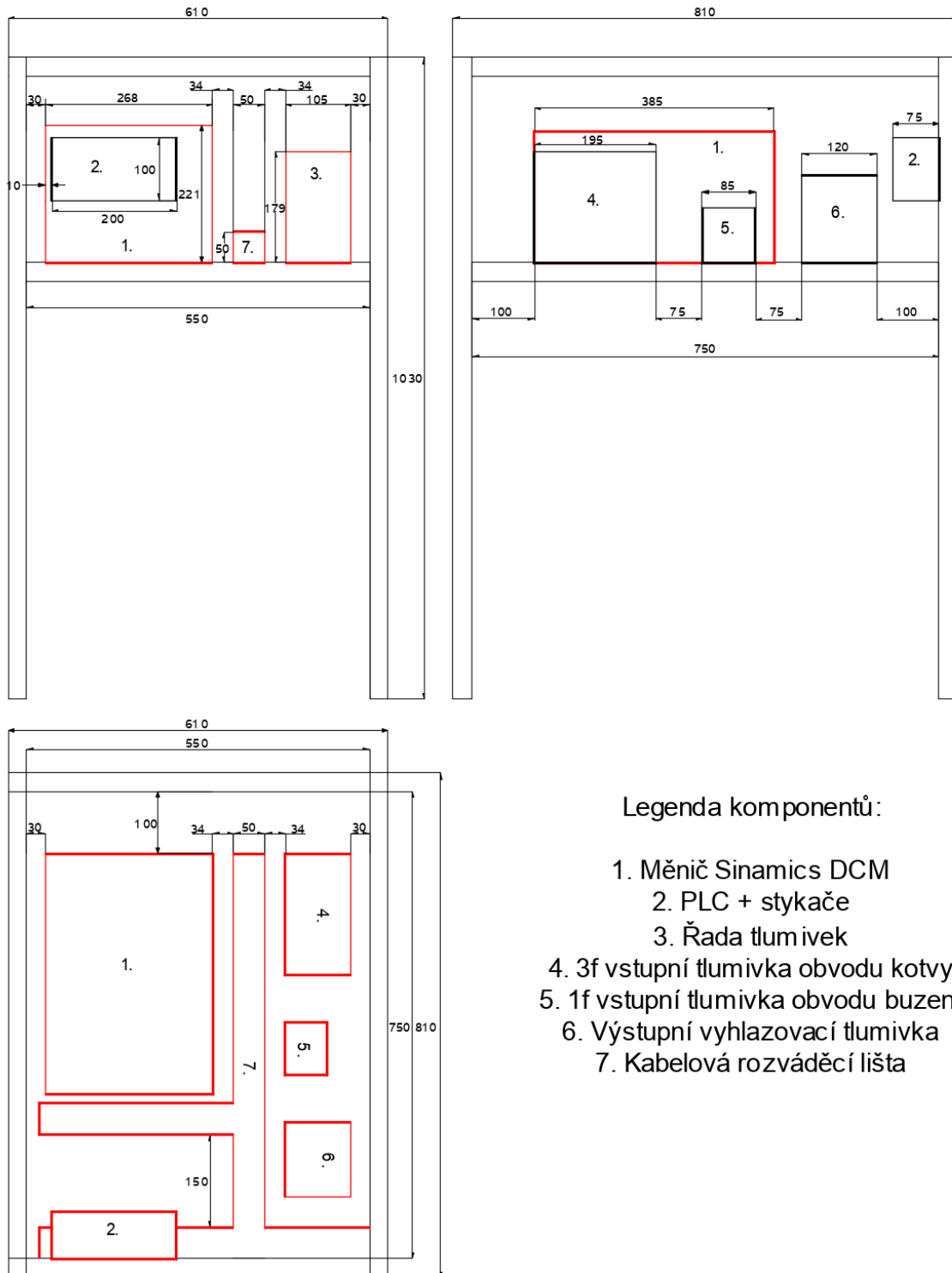
Komponent	Rozměry Š×V×H [mm]
Měnič SINAMICS DC Master	268×385×221
PLC	90×100×75
Třífázová vstupní tlumivka obvodu kotvy	195×179×105
Jednofázová vstupní tlumivka obvodu buzení	85×89×67
Výstupní vyhlazovací tlumivka	100×140×120
Kabelová rozváděcí lišta	50×50
Vstupní rozváděcí skříň	200 × 140
Výstupní rozváděcí skříň	100 × 140



Legenda komponentů:

1. Rozváděcí skříň pro vstup měniče
2. Rozváděcí skříň pro vstup motoru
3. Pohotovostní "STOP" tlačítko

Obr. 3-8 Rozměrový výkres vozíku s uspořádáním komponentů – vnější strana



Obr. 3-9 Rozměrový výkres vozíku s uspořádáním komponentů – vnitřní uspořádání

KAPITOLA 4: PARAMETRIZACE MĚNIČE, PRINCIPY A REALIZACE SOFTWARE APLIKACE

Tato kapitola bude pojednávat o vytvoření programové řídicí části, bude tady zahrnut postup při hardwarové inicializaci a vytvoření komunikace mezi PLC, měničem SINAMICS DC Master a HMI panelem v prostředí TIA Portal a STARTER. Také budou ozřejměny použité programové bloky a řešené problémy při tvorbě ovládacího programu PLC a spojení se s řídicí strukturou měniče DC Master. Rovněž budou zmíněny řešené otázky při ožívování momentové a rychlostní řídicí smyčky. Kapitola dále vysvětlí principy a složení programu pro HMI panel.

4.1 První uvedení měniče do provozu a parametrizace měniče pomocí software STARTER

Pro parametrizaci měniče SINAMICS DC Master je nutno využít software STARTER nebo pomocí operátorského panelu integrovaného v měniči. Vzhledem k dalšímu navazování komunikace s kontrolérem SIMATIC S7-1200 bude využit způsob parametrizace pomocí software STARTER kde je nutno parametrizovat měnič pro komunikaci prostřednictvím PROFINET sběrnice s využitím modulu CBE20, kde se vybere rozhraní komunikačních zpráv „Telegram 352“. Prostřednictvím této standardizované komunikace bude dále možné předávat setpointy měniči a číst aktuální hodnoty procesu, tzn. vytvořit cyklickou komunikaci mezi měničem a PLC.

Postup při využití STARTER pro parametrizaci měniče prostřednictvím PROFINET rozhraní a jednotky CBE20 [8]:

- a. Zvolit typ měniče, resp. vstupní hodnoty elektrických veličin měniče,
- b. Zapsat parametry kotevního obvodu řízeného motoru do měniče,
- c. Provést nastavení budícího obvodu podle hodnot motoru,
- d. Parametrizace prostředků snímání otáček motoru,
 - při výběru analogového dynama, je nutno parametry uvádět pro nominální hodnotu otáček motoru pro správnou funkci měniče,
- e. Výběr komunikačního rozhraní formou komunikačního telegramu,
- f. Nastavit parametry důležitých funkcí, generátoru rampy, procesních limitů.

Po ukončení parametrizace, je možnost vykonat optimalizační běh systémů, kdy měnič řadou přednastavených úkonů a měření provede výpočty potřebných parametrů řídicích smyček a parametrů které nejsou obsaženy ve štítku motoru. Posléze dojde k nastavení regulátorů řídicích smyček s možností dodatečné korekce, protože ne pro každý stroj optimalizační běh dokáže najít přesné parametry [8].

4.2 Princip komunikace mezi DCM měničem a PLC

Z pohledu vyměňování dat, či už procesních dat nebo parametrů jsou pro tento účel využívány dva základní způsoby komunikace. Obě způsoby budou popsány jejich principiálními vysvětleními s popisem realizace pro měnič DC Master.

4.2.1 Cyklická komunikace

Tento typ komunikace je popsán samotným názvem a říká o tom, že výměna dat by měla probíhat v cyklech. Tím pádem je zřejmé, že formou cyklické komunikace mezi dvěma součástmi nebo perifériemi probíhá výměnná dat v každém programovém cyklu a řídicí kontrolér má vždy aktuální informace o stavu řízeného objektu. Na druhou stranu také řízený objekt získává vždy aktuální informace o požadovaných procesních parametrech.

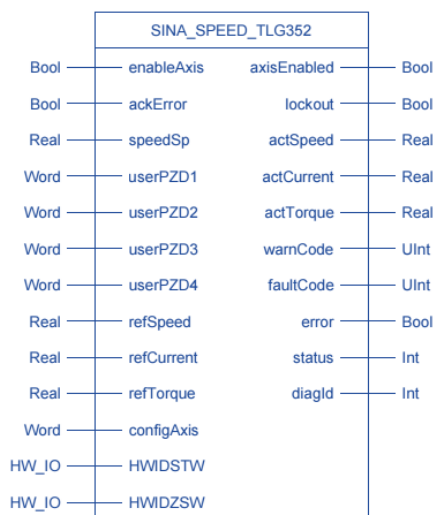
S výhodou pak můžeme tuto komunikaci využít pro systémy vyžadující velkou dynamiku a přesnost řízení například pro „motion control“. Dynamika pak samozřejmě také závisí na zatížení komunikačního kanálu, kde může probíhat více úkonů najednou, a tak se zpomaluje rychlost výměny dat [8].

V řešeném případě cyklická komunikace DCM měniče s kontrolérem S7-1200 a HMI panelu a celkově Siemens produktů prostřednictvím komunikačních telegramů, které pozůstávají z tzv. PZD slov. Tyto komunikační telegramy mají různé formy jejich sestavení a bylo nutno vybrat vhodnou strukturu pro daný případ. Za telegram s vhodnou strukturou pro řešenou aplikaci byl uznán Telegram 352 6/6 PZD, to znamená že pozůstává z 6 PZD slov v směru od Master kontrolérů do měniče a 6 PZD slov také v opačném směru [12].

Tab. 4-1 Struktura komunikačního telegramu 352 [12]

	Receive (komunikace v směru PLC → MĚNIČ)	Transmit (komunikace ve směru MĚNIČ → PLC)
PZD1	STW1 (Control Word – ovládaní měniče)	ZSW1 (Status Word – stav měniče)
PZD2	NSOLL_A (setpoint rychlosti ve formátu 16 - bit)	NIST_A_GLATT (aktuální hodnota otáček)
PZD3	uživatelsky definováno (setpoint budícího proudu)	IAIST_GLATT (aktuální hodnota kotevního proudu)
PZD4	uživatelsky definováno (-)	MIST_GLATT (aktuální hodnota momentu)
PZD5	uživatelsky definováno (-)	WARN_CODE (číselný kód varování od měniče)
PZD6	uživatelsky definováno (-)	FAULT_CODE (číselný kód chyby měniče)

Pro realizaci cyklické komunikace pro spojení měniče SINAMICS DC Master a kontroléru SIMATIC S7-1200 byl použit funkční blok SINA_SPEED_TLG352 z knihovny LSINAExt, která poskytuje vícero bloků pro řízení měničů SINAMICS prostřednictvím kontrolérů S7. Zmíněná funkce právě poskytuje programové prostředky pro řízení měniče prostřednictvím cyklické komunikace a je navržena pro jednoduchou implementaci do programu dané širší technologie. Její struktura je zobrazená na Obr. 4-1:



Obr. 4-1 Zobrazení funkčního bloku SINA_SPEED_TLG352 [14]

Tento funkční blok pozůstává ze vstupů pro ovládaní samotného měniče a to jsou „EnableAxis“ pro spuštění měniče, „ackError“ pro kvitování poruchy měniče, a „configAxis“ kde je zapsáno celé ovládací bitové slovo (STW1 – Control Word). Struktura STW1 je znázorněná v následující tabulce [14]:

Tab. 4-2 Struktura STW1 v parametru „configAxis“ ve funkčním bloku SINA_SPEED_TLG352 [14]

Pořadí bitu v proměnné configAxis	Akce při změně hodnoty na log. 1
0	OFF2
1	OFF3
2	Zapnutí měniče
3	Zapnutí generátoru rampy
4	Povolení fungování generátoru rampy
5	Povolení zadávání rychlostního setpointu
6	Invertování rychlostního setpointu
7	Zvýšení hodnoty vestavěného potenciometru
8	Snížení hodnoty vestavěného potenciometru

Dále vstupy bloku „speedSp“ slouží pro zadávání hlavního rychlostního setpointu, tedy žádané hodnoty rychlosti motoru a vstupy s příponou „ref“ slouží pro standardizaci hodnot setpointů. To znamená, že je vykonáván vnitřní přepočítání a hodnota s příponou „ref“ vyjadřuje procentní hodnotu setpointu [14].

Výstupy slouží pro zjištění stavu měniče, kde nejdůležitějšími jsou „AxisEnabled“, který hlásí že měnič byl zapnut a dále jsou to parametry s příponou „act“, které poskytují aktuální hodnoty rychlosti, momentu a proudu motoru. Dále mezi důležité hodnoty poskytovány měničem jsou chybné hlášení.

4.2.2 Acyklická komunikace

Opakem cyklické komunikace je acyklická, která probíhá jen v případě požádání o zápis nebo čtení určitého parametru zařízení. Kdybychom však chtěli pomocí této komunikace řídit nějaký systém, tak bychom nebyli schopni dosáhnout velkou dynamiku z důvodů, že by informace vzhledem k řízení nebyli dostupné každý programový cyklus ale jen v případě požádání o přepis parametrů. Tyto přepisy nebo čtení parametrů je delší proces než výměna komunikačních telegramů a nedoporučuje se použití pro dynamické řídicí aplikace [8].

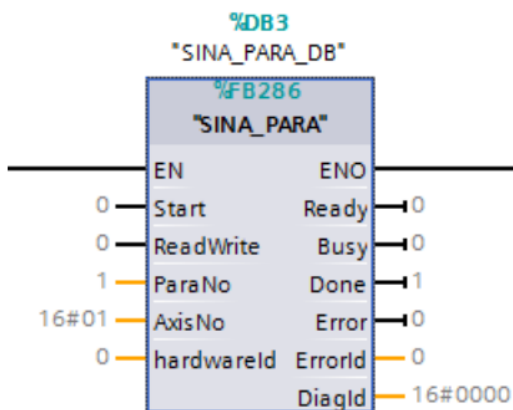
Avšak využití této komunikace, je možné v případě občasných změn parametrů zařízení jako například při rozhodnutí se pro řízení jiného typu motoru nebo změnu parametrů pro nastavení řídicích obvodů pro výběr řízení otáček, momentu nebo proudu. V takovémto případě po vhodné konstrukci řídicího programu by bylo možné využít jeden měnič pro více podobných pohonů a aplikací.

Acyklická komunikace je vytvořena pomocí bloků ze stejnojmenné knihovny jako v předchozí kapitole. Jedná se o funkční bloky SINA_PARA a SINA_PARA_S, kde se jedná o stejnou funkcionalitu s rozdílem, že SINA_PARA_S je určena jenom pro jeden parametr. Tím pádem bude představen jenom jeden funkční blok SINA_PARA. Druhý funkční blok je analogický.

Funkční blok SINA_PARA na základě požadavku „Start“ spouští zápis nebo čtení parametrů měniče podle předem nastavené hodnoty „Read/Write“. Dalším parametrem pro provedení úkonu je počet parametrů, které se budou zapisovat. Tyto parametry a zapisované hodnoty jsou uloženy v datovém bloku SINA_PARA_DB, kde je parametry potřeba nejdříve nakonfigurovat [15].

V případě bloku SINA_PARA_S se konfigurace parametru a zapisovaná nebo čtená hodnota zadává přímo jako vstup nebo výstup bloku.

Dále pak jsou přístupné stavové výstupy, kde zjistíme výsledný stav provedení operace, a to či operace byla provedena, či se provádí nebo v případě chyby také proč daná chyba nastala.



Obr. 4-2 Zobrazení funkčního bloku SINA_PARA [15]

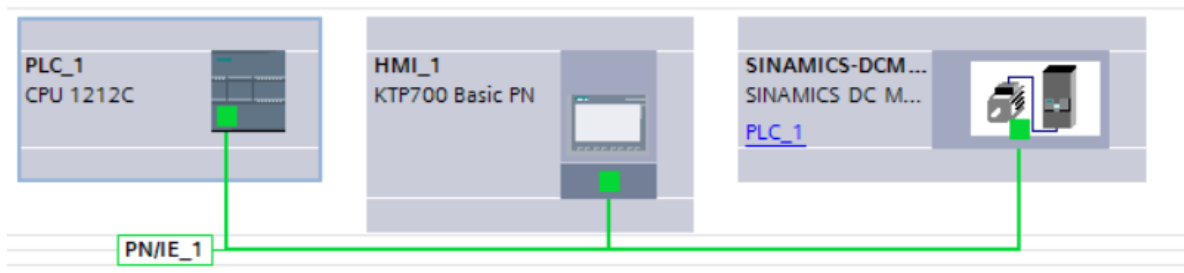
4.3 Oživování komunikace, momentové a rychlostní řídicí smyčky

4.3.1 Zprovoznění komunikace

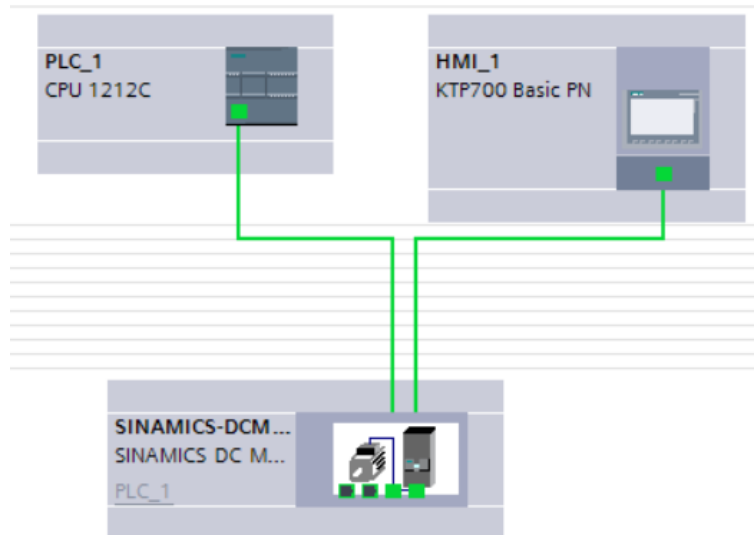
Prvním krokem oživování a navazování komunikace celého systému, je zvolit správně hardware konfiguraci v prostředí TIA Portal. PLC a HMI panel jsou vybrány přímo v katalogu TIA Portalu. Problém nastává přímo s měničem SINAMICS, který není v zmíněném katalogu zahrnut a je potřeba ho přidat manuálně. K tomu se využijí tzv. soubory GDS nebo GDSML podle způsobů komunikačního propojení.

Soubory definovány zkratkou GSD, mají všeobecný význam „General Station Description“. To znamená, že tyto soubory poskytují všechny potřebné informace o daném produktu a jsou poskytovány přímo výrobcem daných komponent. Co se týče souboru GDSML (obdoba XML), tak se jedná o jazyk, kterým je popsáno PROFINET zařízení a využitím tohoto jazyka se taktéž následně generuje GSD soubor [16].

Pro funkční komunikaci mezi všemi komponenty je nutné brát v potaz vytvoření správné konfigurace hardwaru a zároveň správné zadání topologického uspořádání tzn. s přesným propojením Ethernet portů. V poslední řadě je třeba také dbát na správnou volbu firmwaru v TIA Portálu tak aby odpovídala verzi nainstalované v komponentách.



Obr. 4-3 Ukázka hardware konfigurace v TIA Portál



Obr. 4-4 Ukázka topologické konfigurace v TIA Portal

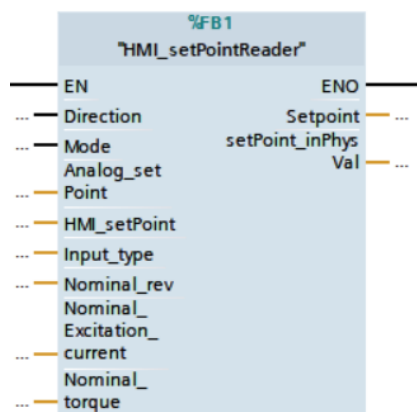
4.3.2 Funkční blok pro zadávání žádaných hodnot

Důležitou částí řídicího programu je čtení a přepínací logika zadávání setpointů. Tyto setpointy je nutno následně upravit podle způsobů nastavení řídicího obvodu. V případě otáčkového řízení se zadává setpoint ve formě žádaných otáček a funkční blok SINA_SPEED_TEL352 tuto hodnotu upraví pro měnič.

V případě momentového řízení, nastává problém, protože parametrizaci měniče se nastaví měnič pro toto řízení, avšak funkční blok je uzpůsoben pro otáčkové řízení. V měniči se překlene otáčkový regulátor a setpoint, který by se přiváděl na vstup tomto regulátoru se tak přivádí na vstup momentového regulátoru. Tím pádem je nutno přepočíst žádaný moment na absolutní hodnotu v procentech a násobit jí nominálními otáčkami stroje. Tím pádem se dosáhne přizpůsobení setpointu momentu pro funkční blok konfigurován pro otáčkovou regulaci.

Vytvořený funkční blok pro čtení a zpracování setpointů má strukturu, kde se na jeho vstupy přivádí, analogový setpoint z potenciometru a HMI setpoint. Dále se přivádí mód zadávání setpointů, ten rozhoduje o tom, zda bude zadáván přes HMI nebo analogově. Je tady také možnost volby typu vstupního setpointů, která rozhoduje o tom či daný blok snímá otáčkový, momentový setpoint nebo setpoint budicího proudu. Toto nastavení se zprostředkuje pomocí vstupu „input type“ kde při nastavení hodnoty 0 se snímá otáčkový setpoint, při volbě hodnoty 2 momentový setpoint a při volbě hodnoty 1 setpoint budicího proudu. Kromě toho pro přepočty hodnot jsou přiváděny referenční hodnoty otáček, momentu, a budicího proudu.

Výstupem je setpoint dané veličiny podle módu čítače a je produkován ve dvou formách. Máme možnost použít setpoint v dané fyzikální jednotce pro předpřipravené bloky nebo ve formě INT upravené přímo pro měnič.



Obr. 4-5 Zobrazení funkčního bloku setPointReader

4.3.3 Změna způsobů řízení a přepínání mezi otáčkovou a momentovou regulací

Z důvodu komplexnosti použití nebo také provedení různých měření a zkoušek nejen na řízeném motoru ale také prostřednictvím zatěžování pomocí řízeného pohonu je realizováno přepínání mezi dvěma možnostmi řízení.

Volba otáčkové nebo momentové regulace bude přímo realizovaná pomocí výběru na obrazovce HMI panelu. Pro realizaci takovéto možnosti výběru jsou použity jednoduchá tlačítka na HMI obrazovce s logikou blokace druhého způsobu. Po stisknutí tlačítka se provede akce, která pomocí bloků popsaných v kapitole 4.2.2 změni parametry měniče. Parametry měniče pro účel změny způsobů řízení jsou:

Tab. 4-3 Parametry ovlivňující způsob řízení stejnosměrného stroje [12]

parametr	kombinace	význam
p50084	1	Zpětnovazební otáčková regulace
p50169	1	Limitování momentů aktivní
p50170	0	Proudová podřízená regulační smyčka
p50084	2	Zpětnovazební regulace momentu/proudu
p50169	0	Limitování proudu aktivní
p50170	1	Nadřazený regulátor je vyřazen a podřazený je nastaven pro regulaci momentu

Pro nastavení jednoho nebo druhého způsobů řízení motoru je nutno nastavit všechny tři parametry na uvedené hodnoty. Zároveň se musí dbát na podmínku, že parametry p50169 a p50170 nesmí v stejném čase nabývat hodnoty log. 1 [12]. Tento předpoklad byl také zohledněn v návrhu přepínací logiky. Zároveň nastává problém při přepisu parametrů v případě kdy je nastaven měnič pro momentovou regulaci. Proto přepínací logika pro minimalizaci chyb programu musí vždy po ukončení řídicího módu zabezpečit přepnutí typu řízení na otáčkovou regulaci.

Jak už bylo dříve popsáno v kapitole 2.2.2 pro řízení momentu se překlenuje otáčkový regulátor a otáčkový setpoint se mění na momentový. Avšak je nutná jeho dřívější úprava, protože DCM neumožňuje zadávání druhého setpointu pro moment. Tato úprava byla zmíněna v kapitole 4.3.2, kde je popsán funkční blok pro komunikaci PLC s DCM měničem.

4.3.4 Realizace změny budicího proudu a ovlivňování magnetického toku stroje

Pro účely měření na řízeném pohonu a prezentace jak ovlivní budicí tok charakteristiky stroje je realizovaná možnost odbuzení stroje.

Měnič SINAMICS DC Master kromě otáčkového, momentového a proudového regulátorů disponuje také EMF regulátorem, který má udržovat optimální hodnotu indukovaného napětí motoru. To zabezpečuje prostřednictvím snížení magnetického toku stroje. [9]

Tím pádem, že při povolení odbuzování stroje pracuje EMF regulátor není možné ovlivňovat budicí proud stroje přímo. Celkově odbuzování stroje má pak pod kontrolou tento EMF regulátor.

Proto pro realizaci odbuzování stroje pro výše popsané účely bylo potřebné neparаметrizovat měnič tak, aby bylo odbuzování zakázáno. Díky tomuto nastavení se vyřadí EMF regulátor a setpoint budicího proudu je nastaven jako stoprocentní. Tento setpoint není možné měnit, avšak je možné prostřednictvím komunikace s PLC měnit horní limit tohoto setpointů a tím ovlivňovat budicí proud stroje. Přičemž dolní limit je ponechán na nejnižší přípustné hodnotě pro provoz stroje.

Tab. 4-4 Parametry pro nastavení způsobů odbuzování stejnosměrného stroje [12]

parametr	hodnota	význam
p50081	0	Odbuzování zakázáno – Manuální režim odbuzování
	1	Odbuzování povoleno – Automatický režim odbuzování
p50613	user PZD1 TLG 352	Horní limit pro proud obvodu buzení
p50614	min. I_b	Dolní limit pro proud obvodu buzení

4.3.5 Realizace parametrizace pomocí HMI receptur

Parametrizace měniče s ohledem na parametry řízeného objektu bude provedena pomocí HMI receptur, které zabezpečují přednastavení hodnot parametrů v skupinách, které budou reprezentovat řízený motor a analogové dynamo. Pak pomocí jednoduchého výběrů je možné tyto parametry společně nahrát do procesních proměnných PLC.

Ty budou dále zapsány do datového bloku funkce popsané v stati 4.2.2 a následně se přepíší parametry měniče DC Master.

Tab. 4-5 Parametry pro identifikaci řízeného motoru [12]

parametr	význam
p50100	Jmenovitá hodnota proudu kotvy motoru
p50101	Jmenovité napájecí napětí motoru
p50102	Jmenovitý budicí proud
p50103	Minimální přípustný budicí proud
p2000	Jmenovité (maximální) otáčky motoru (referenční otáčky pro převod analogového dynamu)
p50741	Napětí analogového dynamu při jmenovitých otáčkách motoru

4.4 Design a realizace uživatelského rozhraní

Při návrhu uživatelského rozhraní se postupovalo takovým způsobem, aby byla zabezpečena co nejvyšší optimalizace aplikace a aby byly zároveň splněny všechny zákonitosti tvorby uživatelských rozhraní. Z těchto zákonitostí byl kladen největší důraz na přehlednost a rychlou orientaci operátora v zobrazené obrazovce, na ergonomii ve smyslu použití neutrálních barev nezatežující oči operátora a intuitivnost ovládání.

4.4.1 Uživatelská a administrativní obrazovka

Při spuštění systémů se nejdříve načte obrazovka pro přihlášení uživatelů, přičemž je možno volit ze skupin uživatelů pro administraci systému nebo operátorské řízení. Toto opatření je zahrnuto z toho důvodu, aby se minimalizovala nechtěná změna parametrů nebo změny v uživatelských účtech neoprávněnými osobami, což by mohlo vést k poškození nebo výpadku systému.

Administrátorská skupina uživatelů má k dispozici další obrazovku pro správu uživatelů a také důležitější přístup pro změnu receptur, které slouží k výběrům parametru řízeného stejnosměrného motoru, a parametrů analogového dynamu pro parametrizaci měniče.

Recepturní položky byly vytvořeny přímo při programování HMI a jsou vytvořeny dvě skupiny. Parametry motorů a parametry analogového dynamu pro snímání hodnoty aktuálních otáček. Tyto jednotlivé skupiny mají zadané samostatné parametry, které je pak možno zadávat v administraci a také je umožněno vytvářet nové záznamy pro jiné typy motorů nebo pro prvky snímání otáček. Díky těmto recepturám je zabezpečena vyšší komplexnost řídicího systému a schopnost jen pomocí HMI panelu přidávat a parametrizovat řízený objekt.



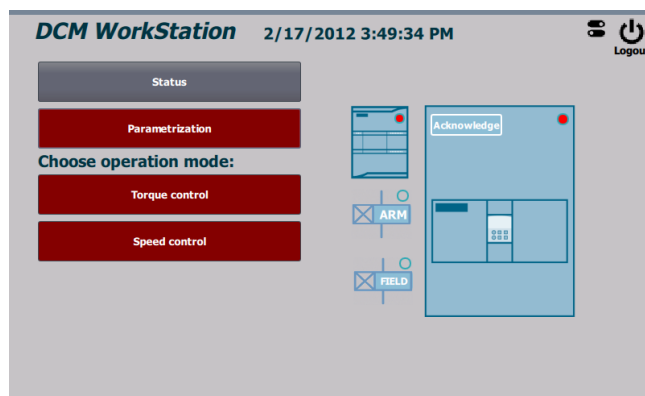
Obr. 4-6 Obrazovka přihlášení uživatele a obrazovka administrace receptur a uživatelů

4.4.2 Hlavní obrazovka pro ovládní stavu, parametrizace a výběr způsobů řízení aplikace

Operátorské skupině uživatelů je umožněno pokračovat jenom na domovskou obrazovku, kde začíná sekvence pro přípravu a spuštění systémů. Na této obrazovce je vytvořená jednoduchá grafika, která podává informaci o stavu systémů pomocí barevných indikátorů.

Nachází se zde tlačítko pro zobrazení statusu systému, kde je zobrazen jeho aktuální stav a realizováno spuštění systému, tlačítko pro zpuštění parametrizace měniče a provedení optimalizace. Dále ve spodní části obrazovky jsou umístěna tlačítka pro volbu řídicích obrazovek.

Pro zvýšení bezpečnosti systémů se uvažovalo s blokadou jednotlivých tlačítek, tzn. že parametrizace je přístupná až po spuštění systémů a řídicí obrazovky je možné volit až po parametrizaci a optimalizaci regulačních struktur.

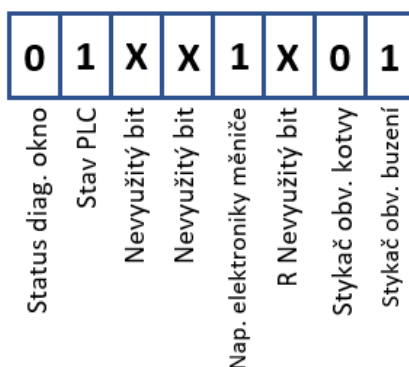


Obr. 4-7 Domovská obrazovka vizualizační aplikace

4.4.3 Realizace dialogového okna pro zpuštění systémů a vizualizaci stavu systémů

Proměnná Statusu systémů je typu Word a jednotlivé bity slouží jenom pro zobrazení a změnu vizuální stránky ovládacích prvků a vytvoření sekvence ovládání. Pro ovlivňování skutečných součástí jsou využívány jednotlivé procesní proměnné.

V proměnné Status Word se primárně využívá prvních osm bitů, kde nultý a první bit slouží pro stav elektromagnetických relé spínajících obvody kotvy a buzení. Třetí bit je vyhrazen pro ovládací prvek uvedení měniče do stavu pohotovosti. Do šestého bitu je zapisován stav PLC a do sedmého bitu je zapisován stav status dialogového okna. Uspořádání a přidělení bitů je zvoleno z důvodu sekvence a vždy významnější komponent, resp. ovládací prvek HMI má přidělený vyšší bit a daná proměnná dosáhne vyšší decimální hodnoty. Pak je možno podmínit ovládací prvek jednoho komponentů dřívějším zapnutím jiného. Např. pokud není otevřeno dialogové okno statusu, není možné zapnutí PLC a prvek pro zapnutí a vypnutí je schován.



Obr. 4-8 Struktura proměnné Status Word

Co se týká způsobu provedení, Status tlačítko se skládá ze dvou navzájem se překrývajících tlačítek. Je tomu tak proto, že proměnná status Word je svázána s PLC avšak při výpadku komunikace mezi HMI a PLC dochází k tomu, že tyto proměnné nejsou synchronizovány. Když by uživatel nadále pokračoval v činnosti, došlo by ke změnám v obrazovce avšak proměnná zůstává fixní. V důsledku toho by při opětovném navázání komunikace obrazovka nepracovala správně. Proto se nepoužila systémová funkce invertující bit ale dvě tlačítka, která pevně nastavují bit této proměnné, aby nedošlo k chybě a tím pádem je nutno využít dvou tlačítek.

Realizace je provedena zmíněným způsobem sekvence zapínání systémů. To znamená, že když je PLC definované jako hlavní ovládací člen, tak musí být spuštěno jako první. Následně je umožněno spuštění měniče do stavu pohotovosti a sepnutí relé, přičemž elektromagnetická relé spínají před zapnutím měniče. Když proběhnou tyto úkony sekvence, tak HMI panel hlásí připravenost systémů pro řízení.

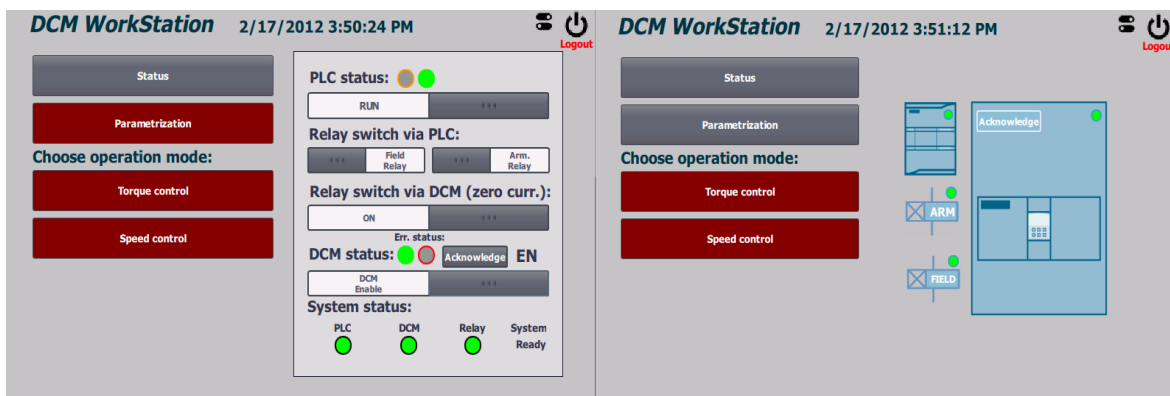
Při snímání stavu PLC bylo nutno vyřešit, aby se stav automaticky získal při každém přechodu do stavu jiného. Pro tento účel se využila systémová funkce Get_PLC_Mode, která byla nasazena na změnu hodnoty proměnné svázanou s „Area pointer“ a tzv. „Life bit“ HMI panelů, který cyklicky v době 1 ms mění svou hodnotu. Tímto způsobem je možno cyklicky ověřovat stav PLC. „Area pointer“ byl aktivován podle [13].

Dalším problémem bylo nastavení tlačidla pro spuštění PLC, protože se používají funkce, které mění stav PLC. Tlačidlo pak bylo svázáno s proměnou stavu PLC. Avšak při zapnutí PLC je určitá časová prodleva a v důsledku toho by tlačítko po zapnutí přešlo do stavu „zapnuto“ vlivem aktivace, ale pak by přešlo opět do stavu vypnuto a zpátky do „zapnuto“ při zapnutí PLC po určitém čase od požadavku. Tuto grafickou chybu bylo nutno omezit a to se provedlo pomocí neviditelných tlačítek. Grafické tlačítko je umístěno pod neviditelnými a odráží jen stav. Ovládací neviditelná tlačítka se pak objevují podle stavu PLC. Např. když je PLC zapnuto, je nad grafickým tlačítkem přítomno neviditelné tlačítko pro vypnutí PLC a naopak. Toto opatření je realizováno pro případ kdy dojde k přerušení komunikace nebo jiného výpadku tak aby tlačítko ovládání odráželo reálný stav PLC.

Další ovládací tlačítka pro „Enable“ měniče DC Master a sepnutí stykačů jsou přímo spojena s ovládaným objektem přes procesní proměnnou a nepoužívají se ovládací systémové funkce. Tím pádem také odrážejí reálný stav komponent.

Když se podíváme do pravého rohu domovské obrazovky, všimneme si tlačítka pro odhlášení uživatele. Toto tlačítko je pak po spuštění kterékoli části systémů zablokováno proto, aby se panel nemohl vypnout před odstavením celého systému. Tento postup spadá do prvků ochrany systému.

Na Obr. 4-9 je znázorněno dialogové okno statusu s ovládaním, kde je zobrazen stav PLC, stav DCM měniče a stav relé pro sepnutí napájení pro obvod kotvy a buzení. Rovněž se na této obrazovce nacházejí ovládací tlačítka pro ovlivňování zmíněných stavů.



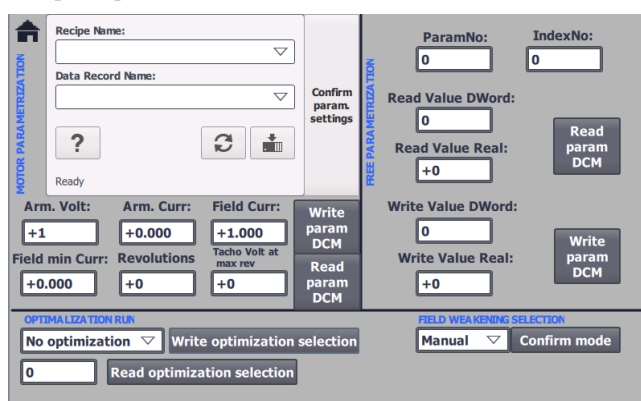
Obr. 4-9 Domovská obrazovka s dialogovým oknem zobrazujícím status systému a po spuštění systému

4.4.5 Obrazovka pro parametrizaci měniče a zpuštění optimalizačních operací

Parametrizační obrazovka je jednou z nejdůležitějších obrazovek a úkonů sekvence přípravy systémů, kterou je nutno vykonat. Proto tento úkon předchází odblokování tlačítek pro výběr regulace a následné spuštění řízení systémů.

V první levé sekci jsou realizovány výběr z recepturních seznamů a následný nahrání parametrů motoru a analogového dynama do měniče, čímž dojde k parametrizaci měniče. V spodní sekci je realizován výběr optimalizačního úkonů. Tu je možný výběr ze tří úkonů, a to naladění regulátorů proudu kotevního obvodu nebo budicího obvodu a také měření magnetizační charakteristiky. Pravá sekce slouží pro parametrizaci libovolného parametru prostřednictvím zadání čísla, případně indexu parametru a příslušné hodnoty. Parametry je také možné jenom číst z měniče a tím zkontrolovat jeho celkové nastavení.

Čtení parametrů je možné ve všech sekcích, avšak v prvních dvou zmíněných sekcích slouží pro kontrolu provedení zápisu parametrů do měniče v dané sekci.



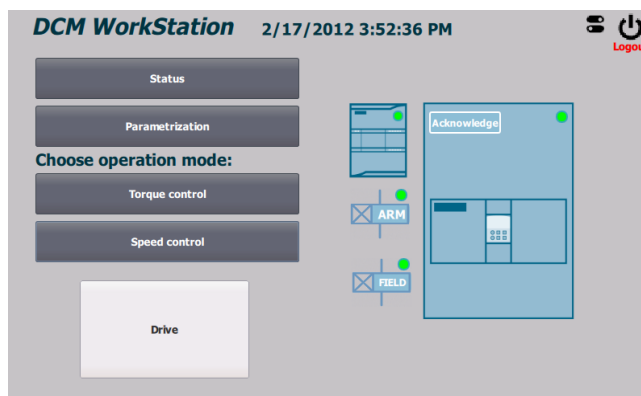
Obr. 4-10 Obrazovka pro parametrizaci měniče pro daný typ motorů, volná parametrizace a optimalizace regulátorů

4.4.6 Realizace výběrů typu regulační struktury

Tlačítka, kterými se spouští řízení, jsou rovněž překryta grafickými náhradami bez funkce, aby bylo řízení zablokováno. Proto je nastaveno, že dokud systém není zcela zpuštěn a není provedena parametrizace a optimalizace měniče tak jsou zobrazena tlačítka červeně a po jeho spuštění dojde k jejich náhradě funkčními verzemi.

Po úspěšném provedení sekvence zapnutí systému se dále pokračuje k výběru typu řízení a přípravě samotného řízení.

Volbou způsobů řízení se automaticky nastaví parametry pro zvolený způsob řízení podle Tab. 4-3. Pokud tento úkon proběhne správně a systém nehlásí chybu tak pomocí tlačítka „Drive“ dochází k přepnutí měniče z pohotovostního stavu do stavu aktivního a přechází se na řídicí obrazovky.



Obr. 4-11 Dialogové okno pro výběr receptury a start řízení

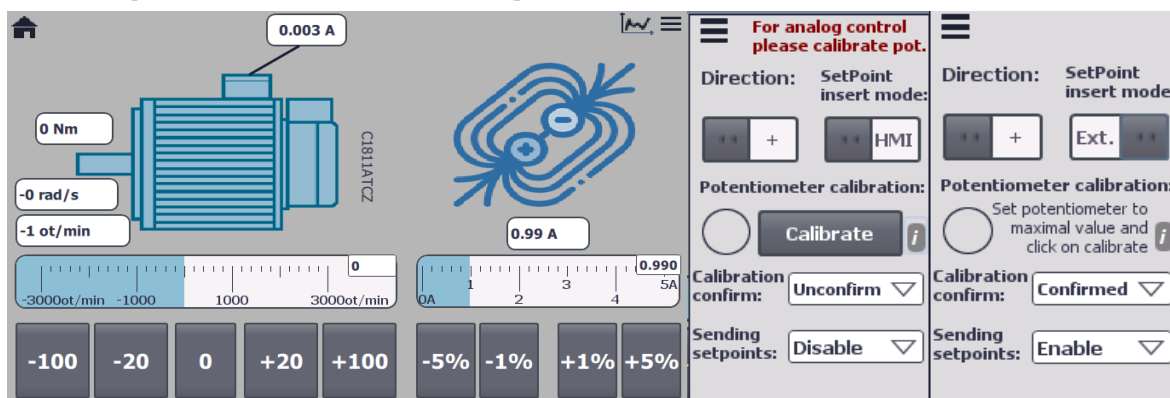
4.4.7 Obrazovky pro řízení momentu nebo rychlosti motoru

Po přechodu na řídicí obrazovku se nejdříve zobrazí grafika s aktuálními hodnotami a tlačítka pro řízení pomocí HMI panelu. Zároveň bylo realizováno analogové řízení pomocí externích potenciometrů.

Kvůli dvou možnostem zadávání setpointů je pak vytvořeno vyskakovací okno nastavení způsobu zadávání. Tady je umožněna volba směru otáčení motoru. Ta je zavedena pro analogové řízení.

Avšak pro analogové řízení v případě použití potenciometrů bylo nutno ošetřit vstupní analogovou hodnotu, protože je zřejmé, že nastavení napětí potenciometrů nebude vždy stejné. Proto se zavedla kalibrace potenciometrů a pro spuštění analogového řízení je nutno nastavit potenciometry na jejich maximální rozsah a zapsat hodnotu do kalibrační proměnné. Následně se po potvrzení kalibrace pomocí rolovacího seznamu je umožněno analogové zadávání setpointu.

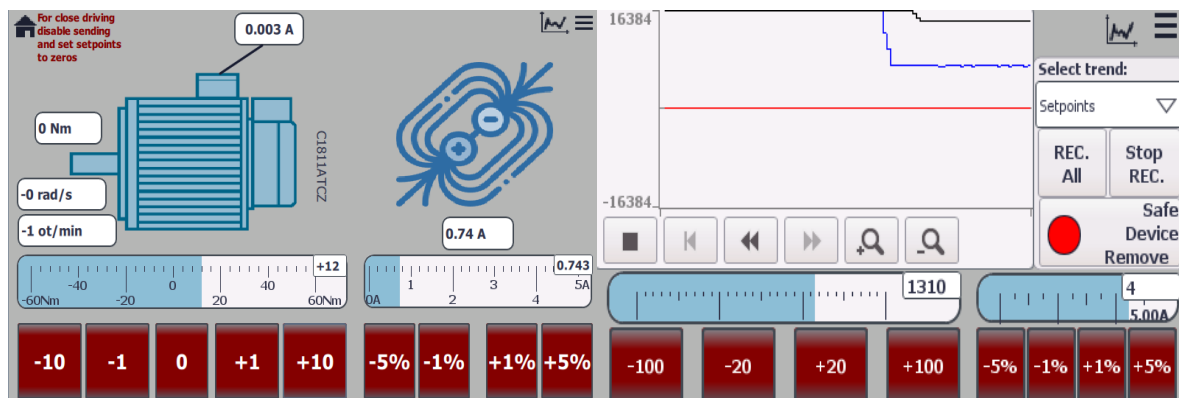
Pro test správnosti kalibrace a pro ošetření případných chyb bylo také zavedeno potvrzení posílání setpointu dále do měniče, rovněž pomocí rolovacího seznamu.



Obr. 4-12 Obrazovka řízení s grafikou pro znázornění aktuálních hodnot a postranní vyskakovací okno pro nastavení řízení

Ve chvíli, kdy je nastaveno a povoleno zadávání a odesílání setpointů, máme k dispozici všechny funkcionality řídicí obrazovky, přičemž kvůli bezpečnosti bylo realizováno zablokování tlačítka pro návrat na domovskou obrazovku s popisem, co je třeba vykonat pro ukončení řídicího režimu.

K dispozici jsou zobrazení s aktuálními hodnotami procesu a také grafické zobrazení těchto hodnot. Při grafickém zobrazení se také zobrazí ovládací okno, kde je možná volba zobrazovaného průběhu veličin, uložení všech průběhů na USB pomocí tohoto rozhraní zabudovaném v HMI panelu a také ověření pro odstranění USB media.

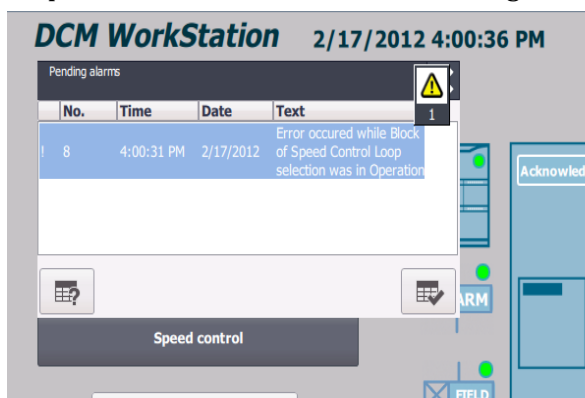


Obr. 4-13 Obrazovka řízení s povoleným přenosem setpointů s aktuálními hodnotami a se zobrazením průběhů

4.4.8 Vyskakovací okno pro hlášení chyb aplikace

Při vytváření rozložení jednotlivých elementů na obrazovkách se přihlíželo na co největší míru zabezpečení při vzniku nějaké chyby. To znamená, že byly ošetřeny případy, kdy se PLC nebo DCM měnič přeruší napájení, resp. vznikne na těchto prvcích jiná chyba ovlivňující jejich činnost, nebo dojde ke ztrátě komunikace mezi komponenty systémů. Všechny tyto případy jsou zahrnuty do chybových hlášení a po jejich potvrzení se vykoná nápravný úkon nebo dojde k přepnutí na obrazovku zobrazující stav systému a zablokování řízení. Blokace řízení je realizována tak, aby nedošlo při znovuotevření řídicí obrazovky k načtení předcházejících setpointů nebo jinému způsobu nechtěného spuštění systému.

Posledním zobrazeným dialogovým oknem je okno pro hlášení chyb systémů. Jako příklad je uvedena chyba při výpadku parametrizace a aktivaci otáčkové regulace.



Obr. 4-14 Dialogové okno s náhlou chybou systému

ZÁVĚR

Výsledkem této diplomové práce je návrh komplexního řídicího systému pro řízení stejnosměrných motorů. Vypracoval se kompletní návrh konstrukce, systému ochran a elektrického zapojení systémů a jeho implementace do mobilního vozíku. Představou takového mobilního systému spočívala v ideji, že systém bude možné použít pro větší škálu stejnosměrných motorů, bez nutnosti použití vývojářského softwaru. Pro tento účel se při programování HMI panelů zahrnuli recepturní položky, kterými je možno nastavit větší množství parametrů jedinou volbou receptury.

Jako výkonový prvek je použit měnič SINAMICS DC Master a jako ovládací prvky jsou využity programovatelný logicky automat řady SIMATIC S7-1200 a vizualizační panel SIMATIC HMI Basic. Komunikace všech periférií je založena na průmyslném komunikačním protokolu firmy Siemens, tzn. protokolu PROFINET založeným na rozhraní Ethernet. Pro vytvoření komunikace mezi PLC a HMI panelem s SINAMICS DC Master se měnič parametrizoval pro komunikaci prostřednictvím standardizované komunikace s využitím komunikačních telegramů. Byl využit telegram s označením „352“. Prostřednictvím tohoto komunikačního telegramu se přenáší ovládací příkazy, otáčkový nebo momentový setpoint a setpoint budicího proudu do řídicí jednotky měniče. Dále jsou získávány aktuální hodnoty procesních veličin jako otáčky, kotevní proud a moment stroje. Kromě toho se získávají i informace o chybě měniče.

Byli vytvořeny ovládaní a vizualizace systémů tak aby odrážela co nejvíce informací pomocí HMI panelů. Logické operace jsou z částí realizované prostřednictvím HMI panelů Basic. Úkony, které nebyli možné realizovat kvůli omezené instrukční výbavě tohoto panelů byli realizovány prostřednictvím PLC.

Po vytvoření ovládací logiky a zabezpečení komunikace mezi měničem a PLC se přistoupilo ke konfiguraci řídicích struktur. Pomocí HMI panelů se vytvořil přístup ke dvěma typům řízení. Byla realizována otáčková a momentová regulace s možnostmi odbuzování řízeného stroje. Žádané hodnoty těchto regulačních struktur, se zadávají podle volby buď prostřednictvím HMI panelů nebo analogovými potenciometry. Potenciometry jsou z důvodů lepší přesnosti kalibrovatelné.

Text diplomové práce má přiblížit čtenáři konstrukci, hardwarové a softwarové provedení pracoviště s řídicím systémem pro stejnosměrné motory ve formě manuálu. Práce obsahuje čtyři kapitoly, kde v první kapitole je prezentována obecná teorie zabývající se stejnosměrnými stroji, výkonovými měniči pro napájení těchto strojů a teoretický přehled čtyř-kvadrantového provozů a řízení stejnosměrných strojů. Po přečtení této kapitoly čtenář nadobude potřebné znalosti pro pochopení vnitřních procesů řídicího systému a řízeného objektu.

V druhé kapitole je představen samotný stejnosměrný měnič SINAMICS DC Master, kde jsou vysvětleny jeho primární funkce a topologie daného měniče pro porovnání s předchozí teorií. Kromě výše zmíněného je nastíněná konfigurace měniče a jeho přídatných modulů pro pochopení principů systému jako celku.

V třetí kapitole je představen návrh koncepce systému ve formě mobilního vozíku a celkový návrh hardwarové části.

V poslední kapitole je vysvětleno uvedení měniče do provozu, první parametrizace měniče s následným způsobem navázání komunikace mezi měničem SINAMICS DC Master a PLC SIMATIC S7-1200. Byli popsány komunikační programové bloky pro výměnu procesních dat a parametrizaci a způsob řešení programové částí pro změnu magnetického toku stroje. Také byly popsány programové bloky pro získávání setpointů a jejich další zpracování.

Další podstatnou částí je vizualizační část, ta je také popsána v čtvrté a poslední kapitole. V této sekci jsou podrobně vysvětleny funkcionality vizualizační části s řešenými problémy, které bylo nutné ošetřit kvůli správné funkci daného systému a jeho ovládaní.

Závěrem můžeme říct, že konečný systém byl navrhnout a naprogramován v souladu se zadáním a požadovanou funkcionalitou a k němu byla vytvořena dostatečná dokumentační základna i pro další navázání na tuto práci.

Systém řízení stejnosměrného pohonů stále však poskytuje prostor pro vylepšení a rozšiřování. Jelikož se jedná o systém řízení, který bude převážně používán na výuku studentů nebo pro vykonání zatížení jiného elektrického pohonů tak systém nedisponuje žádnou sekvencí řízení, která by se dala využít pro určité průmyslové aplikace. Tím pádem se naskytuje možnost rozšířit tento systém o konkrétní funkci a přizpůsobit ho do průmyslné výroby.

Dalším rozšířením, kterým by se systém mohl doplnit je naprogramování sekvencí pro různé zatížení.

LITERATURA

- [1] DURRY, Bill. *The Control Techniques Drives and Controls Handbook* 2nd ed. London: The Institution of Engineering and Technology, 2009. ISBN 978-1-84919-101-2.
- [2] ZÁSKALICKÝ, Pavel. *Elektrické stroje*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2015. ISBN 978-80-553-2117-2.
- [3] SKALICKÝ, Jaroslav. Elektrické regulované pohony: skriptum. In: DSpace [online]. Brno: VUT FEKT, 2007 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/49211/El_reg_pohony.pdf?sequence=18&isAllowed=y
- [4] TIMKO, Jaroslav a Jaroslava ŽILKOVÁ. *Elektrické pohony*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2015. ISBN 978-80-553-2069-4.
- [5] PAVELKA, Jiří, Zdeněk ČEŘOVSKÝ a České vysoké učení technické v Praze. *Elektrotechnická fakulta. Výkonová elektronika*. 2. přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 2000. ISBN 9788001020944;8001020940;
- [6] Fuse Selection Guide. In: *TRG Components* [online]. Romsey: TRG Components UK, 2010 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://uk.trgcomponents.com/uploads/media/FuseSelectionGuide_RevA_01.pdf
- [7] Způsoby řízení stejnosměrných motorů. In: *Profi ElektriKa* [online]. Šlapanice u Brna: ElektriKa.info, 2014 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://elektriKa.cz/data/clanky/zpusoby-rizeni-stejnosmernych-motoru>
- [8] SINAMICS DCM DC Converter: Operating Instructions. In: *Industry Online Support* [online]. Nürnberg: Siemens AG, Division Process Industries and Drives, 2018 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/558/109763558/att_972525/v1/SINAMICS_DCM_DC_Converter_en-US.pdf
- [9] Catalog D 23.1 - SINAMICS DCM DC Converter, Control Module. In: *Industry Online Support* [online]. Erlangen: Siemens AG, Digital Industries, 2020 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/909/109745909/att_1038440/v1/SINAMICS-Drives-D23-1-complete-English-2020.pdf
- [10] Variable Speed Drives: The Advantages of DC Chokes versus AC Line Reactors. In: *Schneider Electric* [online]. Andover: Schneider Electric, 2018 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://www.se.com/ww/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/345000/FA345039/en_US/DC%20and%20AC%20chokes%20white%20paper.pdf#page7
- [11] Application Note: How to Select the Reactor That's Right for Your DC Drive. In: *Reactor Selection for the Line Side of DC Motor Controllers* [online]. Menomonee Falls: MTE Corporation, 2000 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.mtecorp.com/wp-content/uploads/an0101rev1.pdf>
- [12] SINAMICS DCM: List Manual. In: *Industry Online Support* [online]. Nürnberg: Siemens AG, Division Process Industries and Drives, 2015 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/243/109478243/att_851774/v1/Listenhandbuch_eng.pdf
- [13] How do you evaluate the "RUN / STOP" mode of the CPU via an HMI operator panel?. In: *Industry Online Support* [online]. Erlangen: Siemens AG, Digital Industries, 2019 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109481628/how-do-you-evaluate-the-run-stop-mode-of-the-cpu-via-an-hmi-operator-panel?dti=0&lc=en-DE>
- [14] SINAMICS S/G/V: Simple cyclic Funktions Blocks for Controlling a SINAMICS in TIA Portal. In: *Industry Online Support* [online]. Erlangen: Siemens AG, Digital Industries, 2022 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109747655/sinamics-s-g-v-simple-cyclic-funktions-blocks-for-controlling-a-sinamics-in-tia-portal?dti=0&lc=en-WW>
- [15] SINAMICS communication blocks DriveLib for reading and writing drive data within TIA Portal Context. In: *Industry Online Support* [online]. Nürnberg: Siemens AG, Digital Industries, 2021 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109475044/sinamics-communication-blocks-drivelib-for-reading-and-writing-drive-data-within-tia-portal-context?dti=0&lc=en-WW>
- [16] GSDML Getting Started Made Easy. In: *Industry Online Support* [online]. Munich: Siemens AG, 2012 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/371/31410371/att_62131/v1/GSDML_GettingStarted_en.pdf

PŘÍLOHA A: SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

A.1 Seznam symbolů

μ_0	($\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$)	permeabilita vakua
μ_r	($\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$)	relativní permeabilita
μ	($\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$)	celková permeabilita
H	($\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$)	intenzita magnetického pole
B	(T)	magnetická indukce
Φ	(Wb)	magnetický tok
A	(m^2)	plocha
F_{MM}	(A)	magneto-motorická síla
F	(N)	síla
F_m	(N)	maximální síla
N	(–)	počet závitů cívky
R_m	(H^{-1})	reluktance
f	(Hz)	Frekvence
l	(m)	délka
r	(m)	poloměr otáčení
v	($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	rychlost
ω	($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)	elektrická úhlová rychlost
ω_0	($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)	otáčky v stavu naprázdno
M_e, M	(Nm)	elektromagnetický moment stroje
M_{em}	(Nm)	maximální elektromagnetický moment stroje
M_z	(Nm)	zátěžný moment
J	(kgm^2)	moment setrvačnosti
U_a	(V)	napětí kotvy motoru
R_a	(Ω)	odpor kotvy motoru
R	(Ω)	obecný elektrický odpor
L_a	(H)	indukčnost kotvy motoru
L	(H)	obecná indukčnost
I_a	(A)	proud kotvy motoru
c	(–)	konstanta stejnosměrného stroje
k	(–)	obecná konstanta
U_i	(V)	indukované napětí
U_{d0}	(V)	střední hodnota usměrněného napětí při neřízeném usměrňovači
$U_{d(AV)}$	(V)	střední hodnota usměrněného napětí
q	(–)	počet pulzů usměrňovače
α	($^\circ$)	řídící uhel
u_2, u_z, U_2, U_z	(V)	výstupní napětí
u_1, U_1	(V)	vstupní napětí
u_D, U_D	(V)	napětí diody
i_2, i_z, I_2, I_z	(A)	výstupní proud
i_1, I_1	(A)	vstupní proud
i_D, I_D	(A)	proud tekoucí diodou
$U_{z(AV)}$	(V)	střední hodnota výstupního napětí
$I_{z(AV)}$	(A)	střední hodnota výstupního proudu
z	(–)	střída

T_u	(s)	časová konstanta usměrňovače
K_u	(–)	Zesílení usměrňovače
ΔU_d	(V)	Rozdíl výstupního napětí usměrňovače
ΔU_c	(V)	Rozdíl řídicího napětí usměrňovače
$F_u(s)$	(–)	Přenosová funkce usměrňovače
$F_R(s)$	(–)	Přenosová funkce regulátoru
K_P	(–)	Zesílení proporcionální složky regulátoru
K_I	(–)	Zesílení integrační složky regulátoru
K_D	(–)	Zesílení derivační složky regulátoru
s	(–)	Laplaceův operátor
$F_u(s)$	(–)	Přenosová funkce usměrňovače
U_{dMI}	(V)	střední hodnota usměrněného napětí měniče 1 v reverzační topologii
U_{dMII}	(V)	střední hodnota usměrněného napětí měniče 2 v reverzační topologii
α_{MI}	(°)	řídicí uhel měniče 1 v reverzační topologii
α_{MII}	(°)	řídicí uhel měniče 2 v reverzační topologii
α_p	(°)	úhel fázového posunu v reverzační topologii
I_{NAC}	(A)	Nominální proud měniče na střídavé straně obvodu kotvy
I_{Nf}	(A)	Nominální proud měniče v obvodu buzení
I_{NDC}	(A)	Nominální proud měniče na stejnosměrné straně obvodu kotvy
I_{NFa}	(A)	Nominální proud pojistek na střídavé straně pro obvod kotvy měniče
I_{NFf}	(A)	Nominální proud pojistek na střídavé straně pro obvod buzení měniče
I_{NFDC}	(A)	Nominální proud pojistky na stejnosměrné straně obvodu kotvy měniče
L_a	(H)	Indukčnost tlumivky pro obvod kotvy měniče
L_f	(H)	Indukčnost tlumivky pro obvod buzení měniče
L_{af}	(H)	Indukčnost tlumivky pro obě obvody napájené z jednoho zdroje
X	(Ω)	Reaktance tlumivky
$Z\%$	(%)	Procentuální podíl tlumivky z fiktivní impedance napájecí částí měniče
U_s	(V)	Sdružené napětí sítě
u_k	(%)	poměrné napětí nakrátko

A.2 Seznam zkratk

DC	Stejnosemřný/á
AC	Střídavý
V DC	Stejnosemřné napětí ve Voltech
V AC	Střídavé napětí ve Voltech
A DC	Jednosemřný proud v Ampérech
A AC	Střídavý proud v Ampérech
DCM	Měnič SINAMICS DC Master
CUD	Řídicí jednotka měniče (angl. Control Unit of Drive)
PLC	Programovatelný logický automat (angl. Programmable Logic Controller)
HMI	Rozhraní člověk-stroj (angl. Human Machine Interface)
EMF	Elektromagnetické pole (angl. Electro Magnetic Field)
PWM/PŠM	Pulzní šířková modulace (angl. Pulse Width Modulation)
I/O	Vstupní/Výstupní
PZD	Procesní data
GSD	Obecný opis zařízení (angl. General Station Description)
GSDML	General Station Description Markup Language

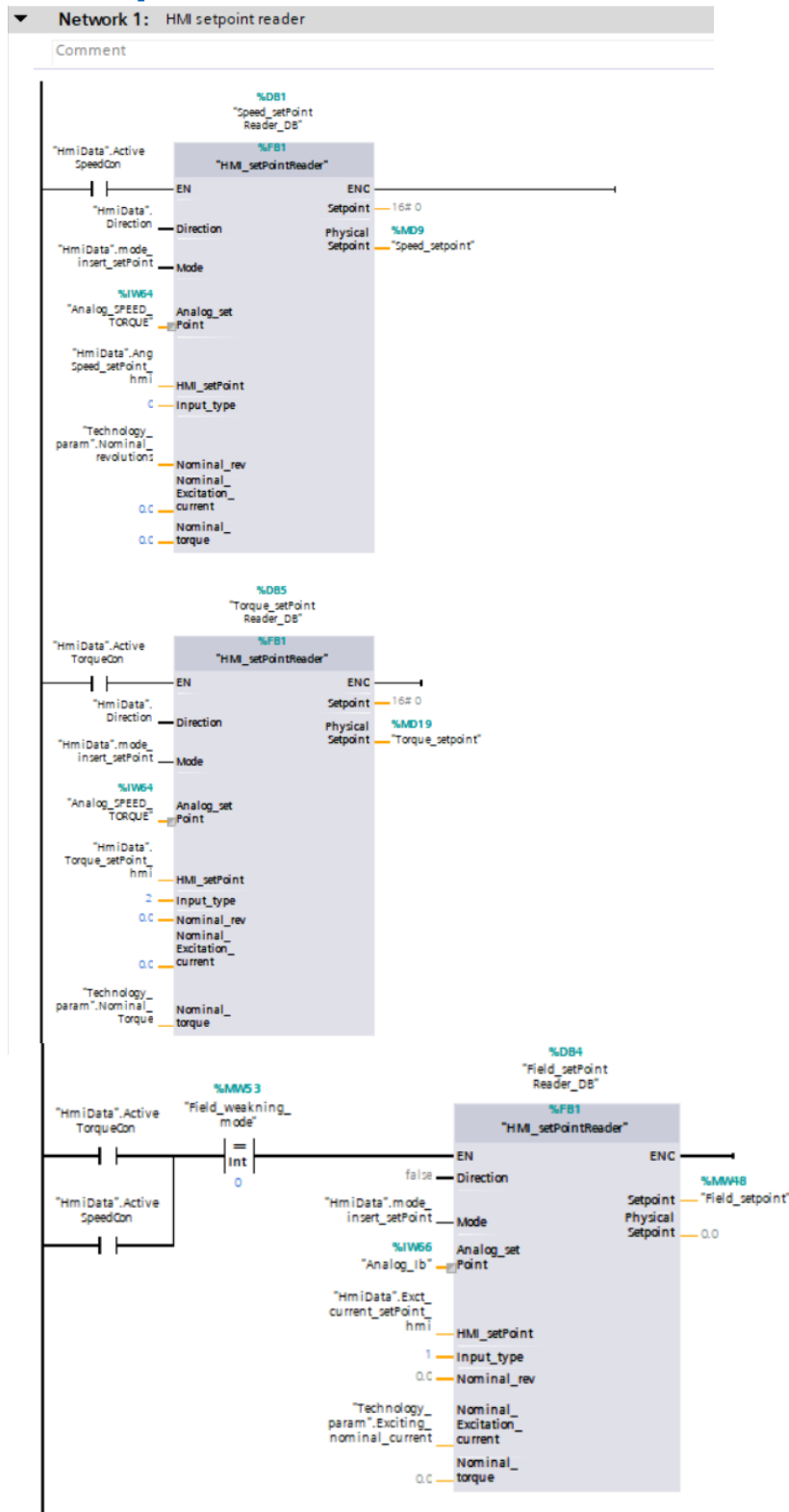
PŘÍLOHA B: OVLÁDACÍ PROSTŘEDNICTVÍM PLC

PROGRAM

REALIZOVANÝ

B.1 Hlavní logická struktura programu

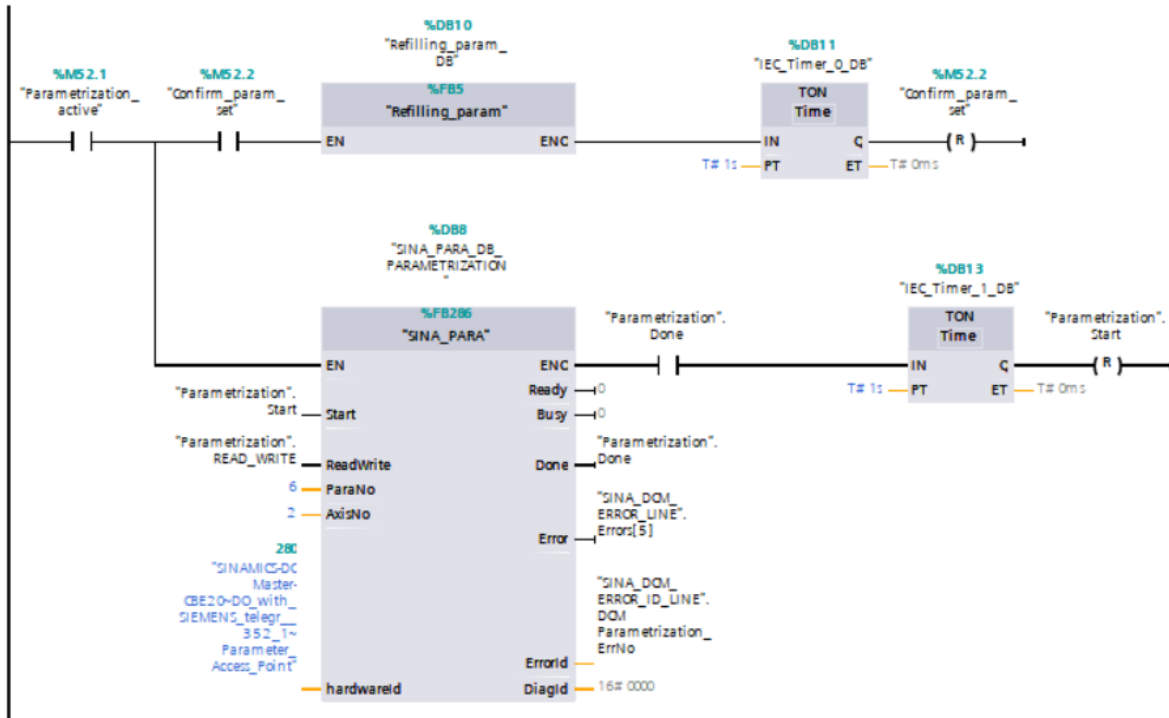
B.1.1 Realizace částí zaznamenávání setpointů z HMI panelu a potenciometrů



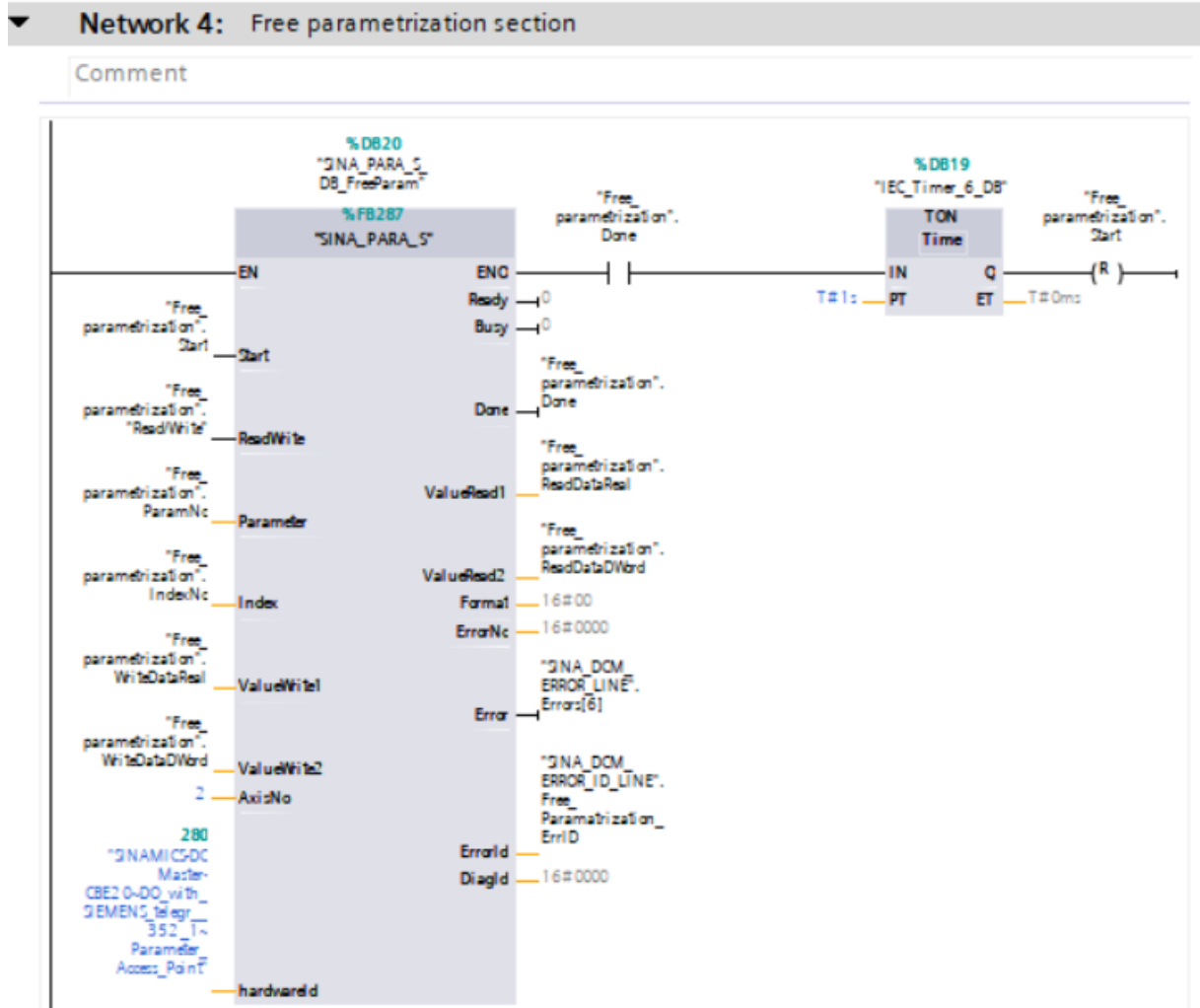
B.1.2 Realizace částí pro parametrizaci měniče prostřednictvím HMI receptur

Network 3: SINA_PARA - WRITE N READ DCM PARAMETER, with pre-fill function array sParam from HMI recipe

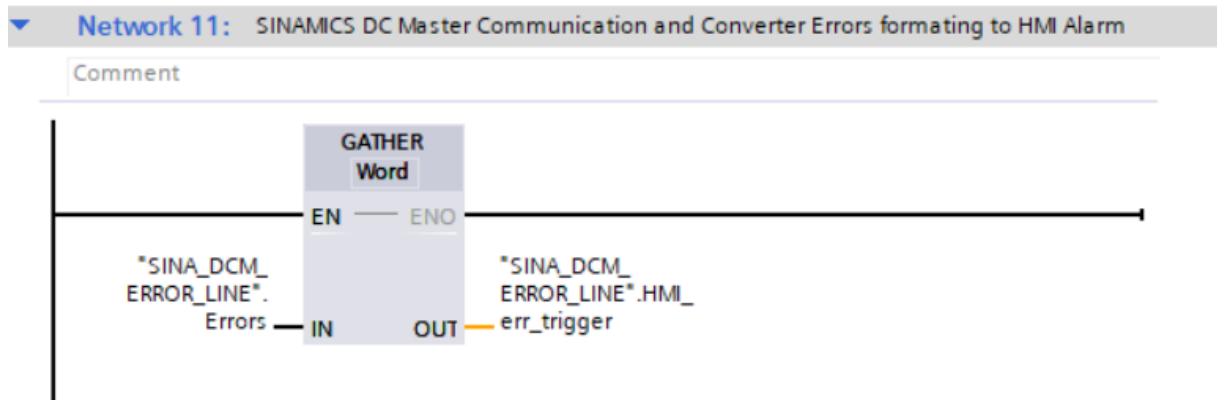
Comment



B.1.3 Sekce volného zápisu a čtení parametrů měniče



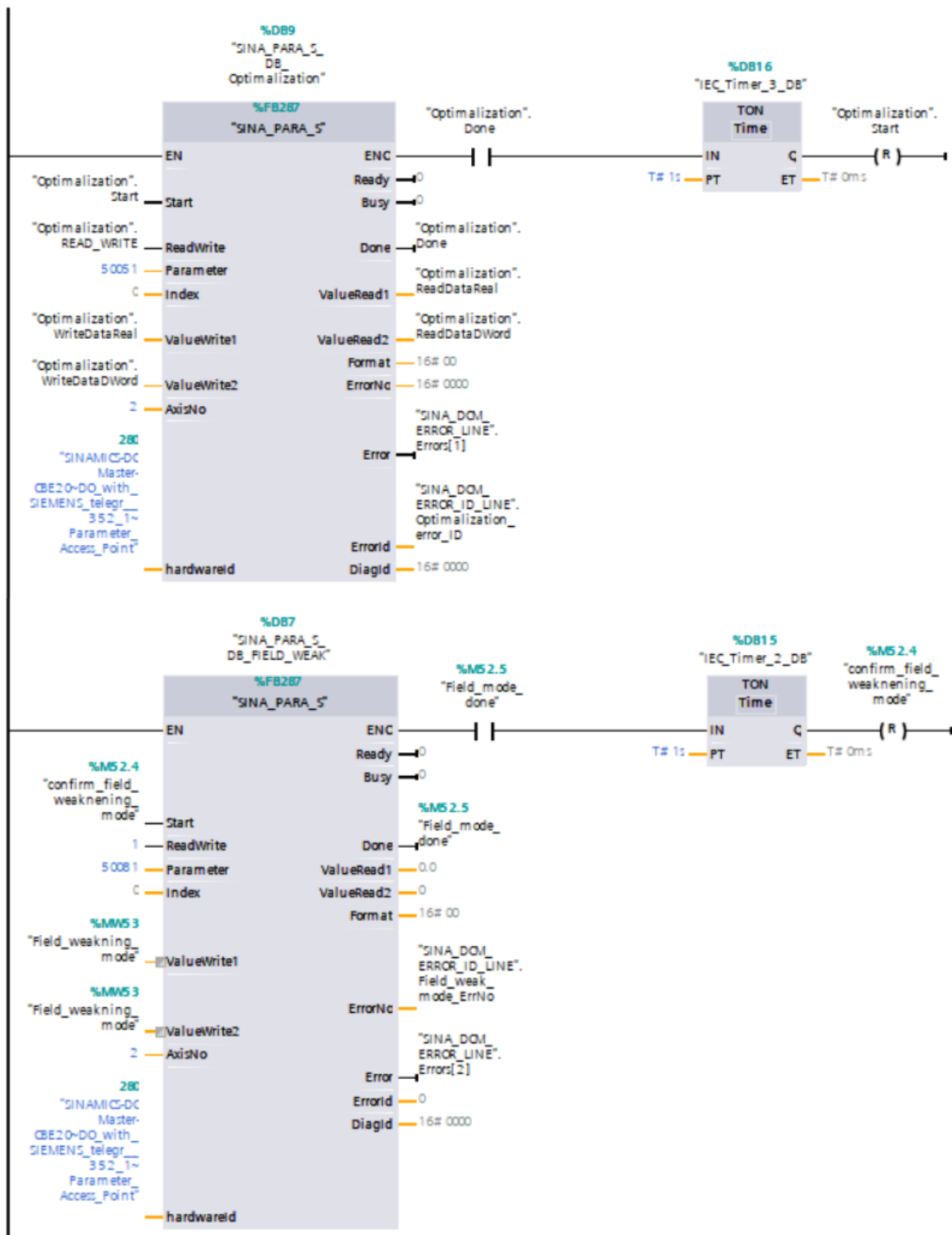
B.1.4 Úprava proměnné pro vytvoření HMI alarmů od měniče DC Master



B.1.5 Sekce vykonávání optimalizačních úkonů měniče a realizace odbuzování motoru

Network 5: Execution of optimizer RUN and field weakening mode

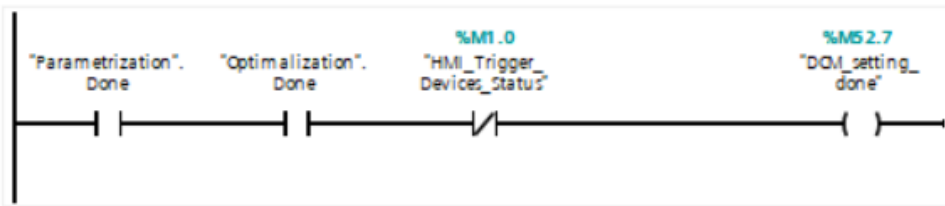
Comment



B.1.6 Blokace řízení a úprava řídicího slova měniče

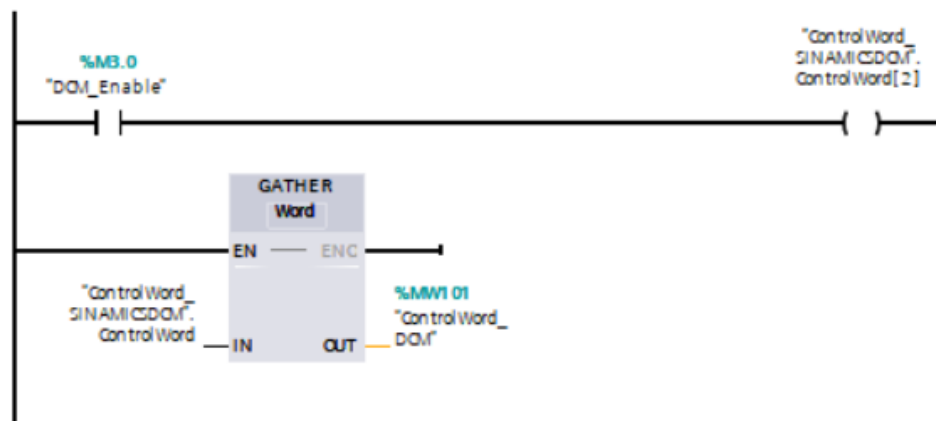
Network 6: Blocking control screens if parametrization and optimization dont be done before

Comment



Network 7: Adjustment ControlWord - SINAMICS DCM

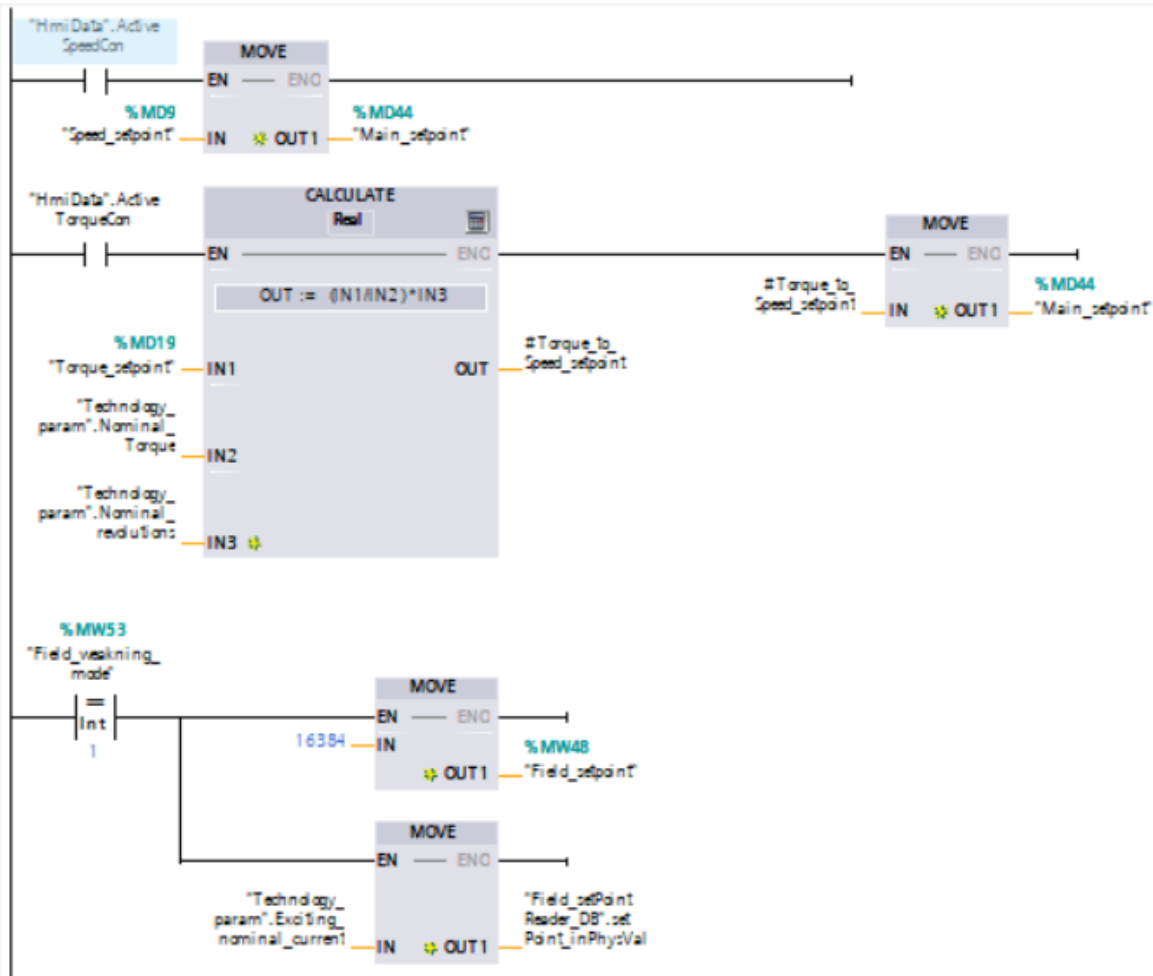
Comment



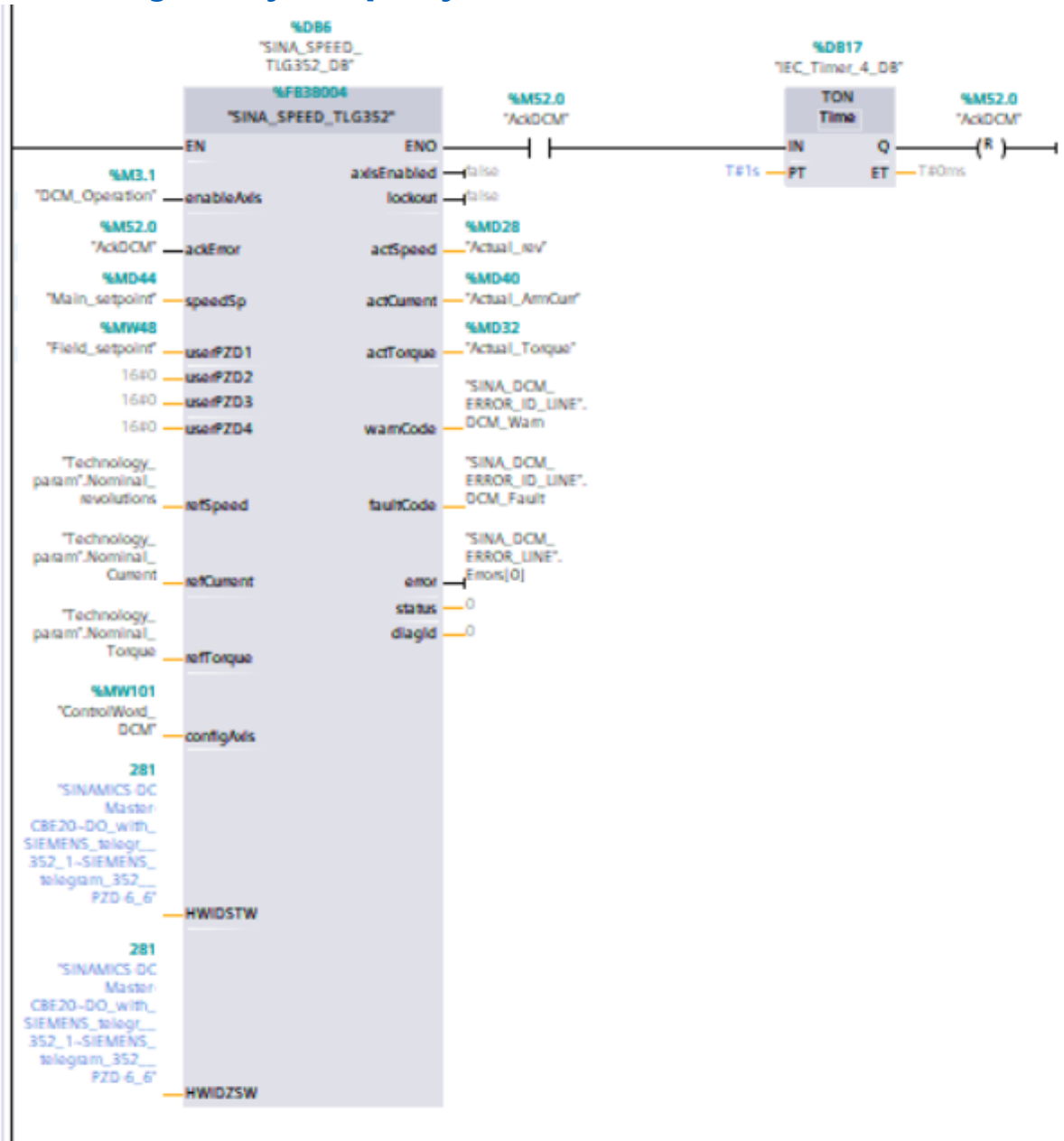
B.1.7 Úprava setpointů před posláním pomocí telegramu 352 do CUD měniče

Network 8: DCM - Motion control - telegram 352 and setpoint convert to INT

Comment



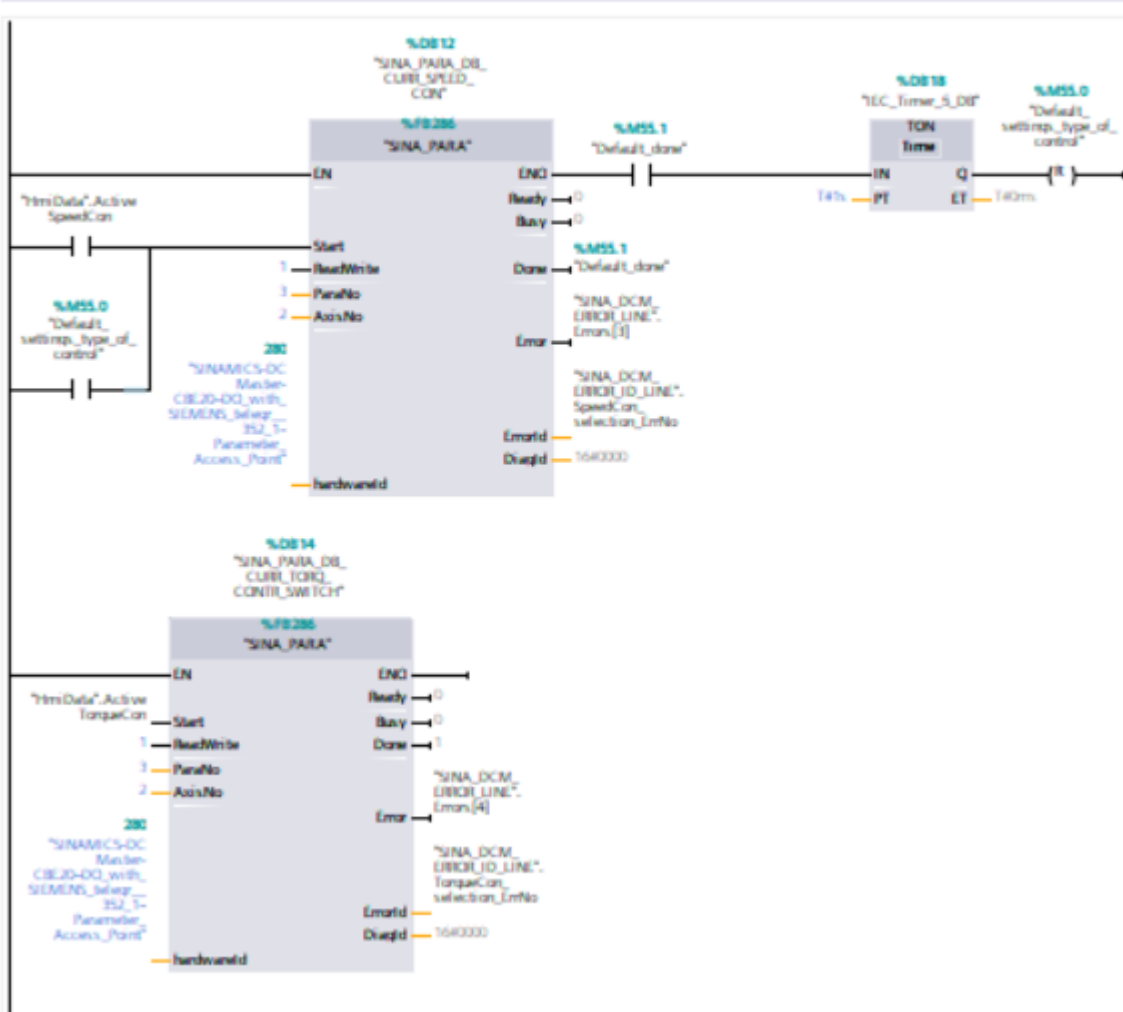
B.1.8 Programový blok pro cyklickou komunikaci PLC s měničem



B.1.9 Programová část parametrizace pro výběr typu řízení stejnosměrného motoru

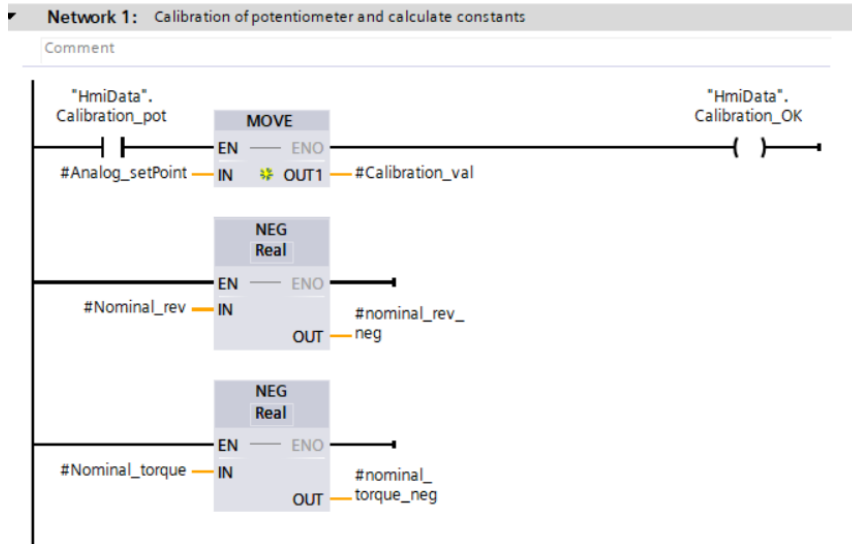
Network 10: Selection type of regulation

Comment

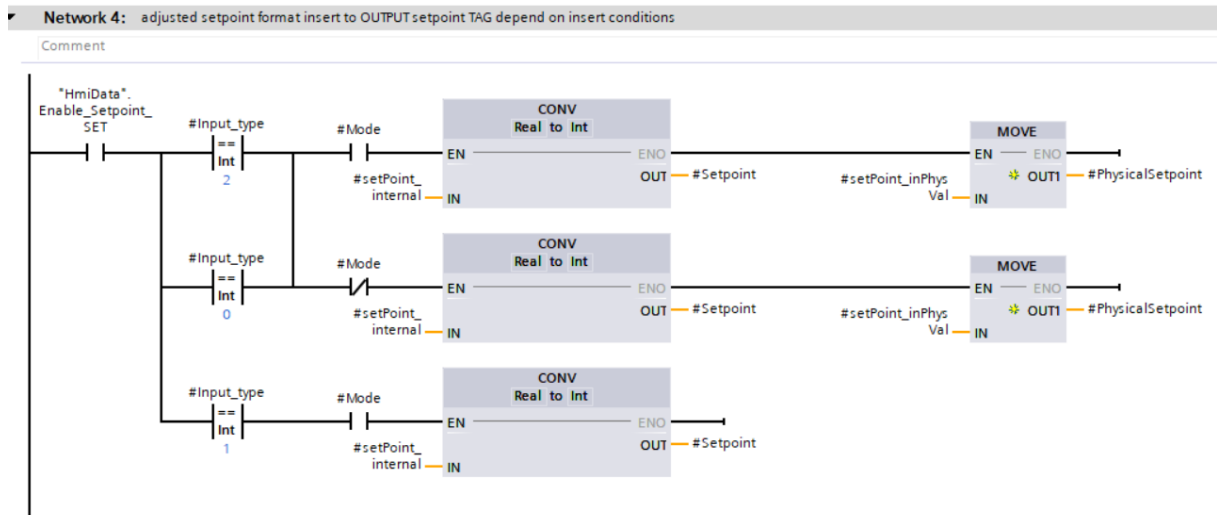


B.2 Funkční blok pro čtení sepointů z HMI panelů nebo analogově

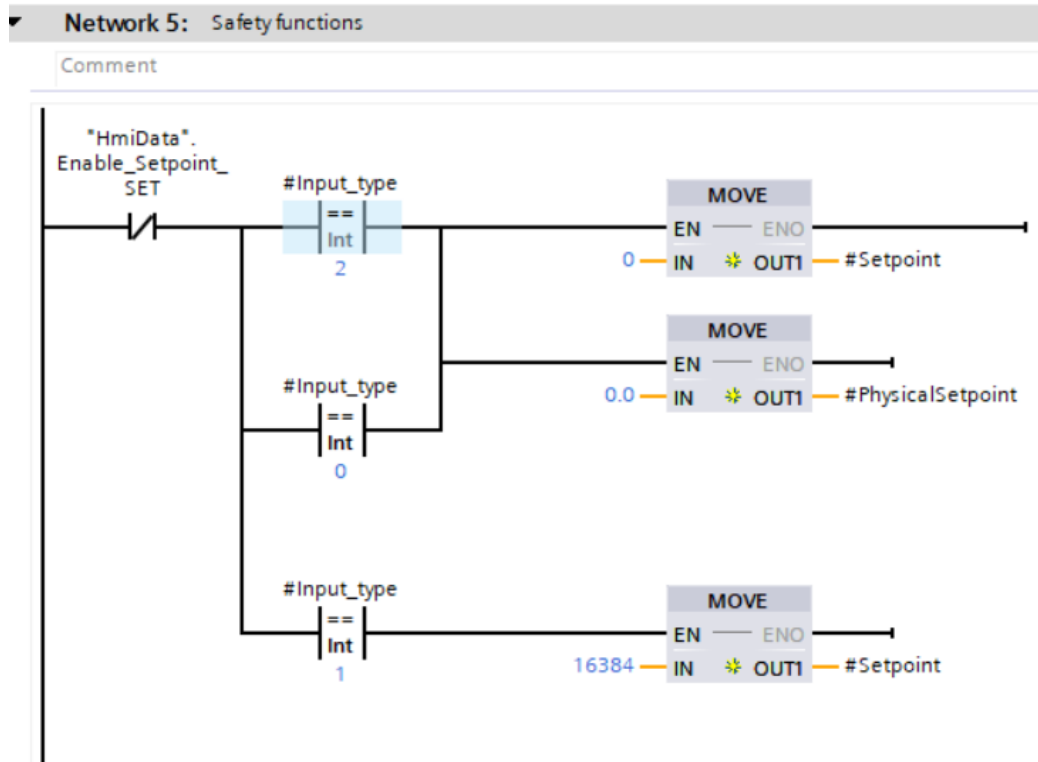
B.2.1 Kalibrace potenciometrů



B.2.2 Přemostění výstupního signálu podle typu zadávání setpointů



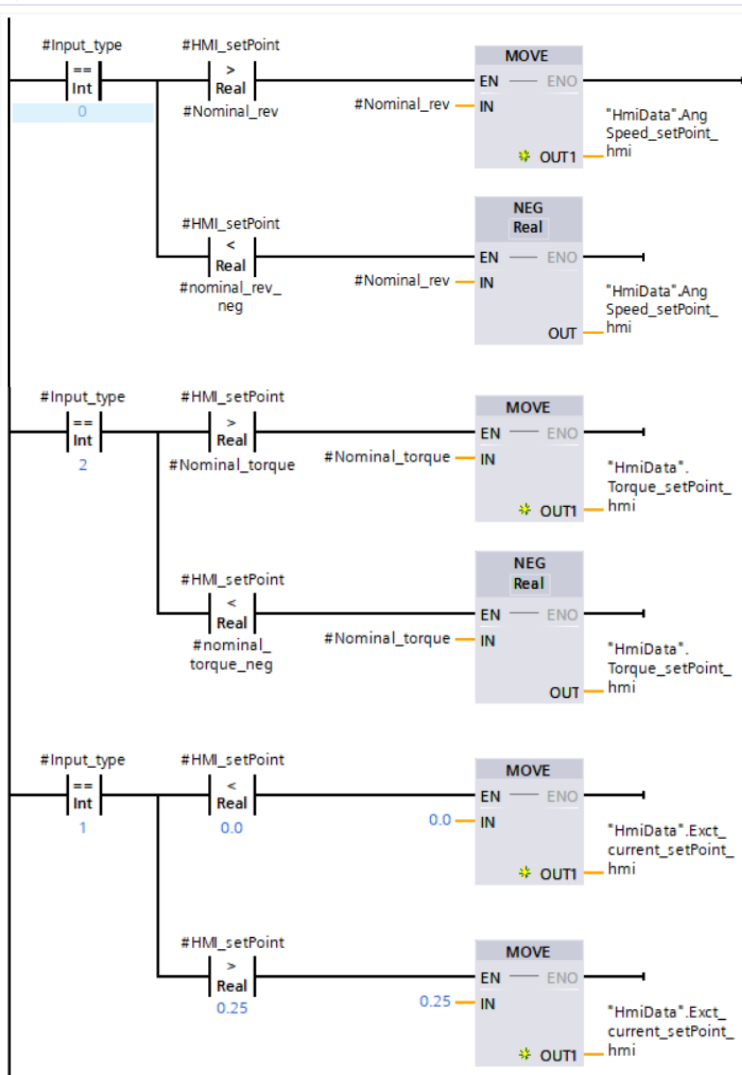
B.2.3 Bezpečnostní omezení výstupních setpointů



B.2.4 Limity setpointů zadaných prostřednictvím HMI panelu

Network 3: Limits for HMI setpoints

Comment



B.2.5 Logika čtení setpointů, podle modu zadávání a zpracování HMI a analogových hodnot na výstup

