



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra elektrických pohonů a trakce**

Konfigurace řídicí části pohonu s asynchronním motorem

Configuration of Control Part of Drive with Induction Machine

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Ing. Pavel Koblíček, Ph.D.

Ondřej Kalát

Praha 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kalát** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **457239**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Konfigurace řídicí části pohonu s asynchronním motorem

Název bakalářské práce anglicky:

Configuration of Control Part of Drive with Induction Machine

Pokyny pro vypracování:

1. Stručně a výstižně popište problematiku U/f řízení asynchronního motoru.
2. Prostudujte manuál vybraného frekvenčního měniče a zaměřte se na řešení rozběhu, řízení rychlosti a brzdění asynchronního motoru.
3. Na dostupném zkušebním pracovišti nastavte všechny potřebné parametry frekvenčního měniče pro řízení asynchronního motoru a pro možnost řízení programovatelným logickým automatem (PLC) prostřednictvím protokolu USS.
4. Připravte PLC jednak pro komunikaci s ovládacím panelem (HMI), a jednak pro řízení frekvenčního měniče pomocí protokolu USS.
5. Vytvořte funkční grafické rozhraní ovládacího panelu pro nastavování parametrů měniče a vyčítání dostupných provozních veličin měniče.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Leonhard, W., Control of Electrical Drives, Springer Verlag, ISBN 3-540-41820-2, 2016
- [2] SINAMICS V20 Inverter - Operating Instructions (A5E34559884-009), manuál frekvenčního měniče firmy Siemens
- [3] SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller (A5E02486680-AL), manuál PLC firmy Siemens
- [4] STEP 7/WinCC V15.1 (109755202)

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Pavel Koblíř, Ph.D., katedra elektrických pohonů a trakce

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

Datum zadání bakalářské práce: **11.02.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

Ing. Pavel Koblíř, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

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

Praha, 21. května 2019

.....

podpis

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu práce Ing. Pavlovi Kobrlemu, Ph.D. za odborné vedení a poučné konzultace. Konzultace k praktické části práce mi poskytli odborníci z firmy Siemens, jmenovitě Ing. Martin Kozák a Dr. Jan Podrapský, za což jim také děkuji. Další poděkování patří samotné firmě Siemens s.r.o. za zapůjčení vybavení pro praktickou část práce. Poděkovat také chci své rodině za podporu během psaní práce.

Abstrakt

Práce je rozdělena na dvě hlavní části. První část se věnuje popisu U/f řízení rychlosti asynchronního motoru. V ní je proveden podrobný teoretický rozbor této metody řízení změnou napájecí frekvence, i krátká praktická část ověřující kompenzaci úbytku na odporu R_1 . Popsány jsou též rozdíly mezi teoretickým a naměřeným průběhem závislosti napětí na frekvenci. Druhá část se věnuje konfiguraci frekvenčního měniče. Pomocí správné konfigurace je možné komunikovat mezi měničem a PLC pomocí USS protokolu. PLC dále komunikuje se zobrazovacím panelem, pomocí kterého je možné zadávat pokyny pro rozběh, zastavení a řízení rychlosti asynchronního motoru, stejně tak jako sledovat několik vybraných parametrů měniče. Pro tento účel bylo pro panel vytvořeno grafické rozhraní, které toto ovládání/vyčítání umožňuje.

Klíčová slova

U/f řízení, frekvenční měnič, PLC, USS protokol

Abstract

The thesis is split into two main part. First one describes V/f speed control of asynchronous motor. This part contains detailed theoretical part as well as short practical part related to compensation of R_1 resistance. There are described differences between theoretical and measured progress of $U_1 = f(f_1)$ function. Second part is related to communication between frequency converter and PLC. This communication is established using USS protocol. PLC also communicates with panel and it is possible to ramp up, down and control the speed of asynchronous motor from here. For this purpose, it was created user interface which allow this control.

Key words

V/f control, frequency converter, PLC, USS protocol

Obsah

ÚVOD	8
1 U/f řízení asynchronního motoru	9
1.1 Příklad kompenzace R_1 při U/f řízení	12
2 Konfigurace řídicí části pohonu	15
2.1 Hardware a software.....	15
2.2 Konfigurace frekvenčního měniče Siemens SINAMICS V20.....	17
2.2.1 Ovládání měniče pomocí externího BOP	18
2.2.2 Příprava měniče na komunikaci s PLC pomocí externího BOP	19
2.3 Konfigurace PLC Siemens SIMATIC S7-1200	22
2.3.1 Propojení komponent	23
2.3.2 TIA portál	24
2.3.2.1 Přidání hardwaru do projektu.....	25
2.3.2.2 Programování v TIA portálu.....	26
2.3.2.3 Přidání knihovny USS komunikace pro V20.....	26
2.3.2.4 Příprava bloků z knihovny	27
2.3.2.5 USS telegram	28
2.3.2.6 Nastavení vyčítaných hodnot z měniče.....	29
2.3.2.7 Převod vyčítaných hodnot z měniče	31
2.3.2.8 Naprogramování vlastních bloků s příkladem	33
2.4 Konfigurace panelu Siemens SIMATIC HMI KTP700 Basic	35
2.4.1 Struktura grafického rozhraní.....	35
2.4.2 Nastavení obrazovky „Global screen“	37
2.4.3 Nastavení obrazovek „Template“	38
2.4.4 Nastavení obrazovek „Screen“	41
2.4.4.1 Domovská obrazovka.....	41
2.4.4.2 Obrazovka „Řízení“	41
2.4.4.3 Obrazovka „Sledování“	43
2.4.4.4 Obrazovky s grafy.....	43
2.4.4.5 Obrazovka „Alarmy“	44
ZÁVĚR	45
Literatura	46

Seznam tabulek

Tab. 1-1: Naměřené hodnoty závislosti $U1 = f(f1)$	13
Tab. 2-1: Seznam použitého hardware	15
Tab. 2-2: Seznam použitého softwaru	16
Tab. 2-3: Nastavování měniče – tovární nastavení	19
Tab. 2-4: Nastavování měniče – zadávání štítkových údajů	20
Tab. 2-5: Nastavování měniče – makro Cn010	21
Tab. 2-6: Nastavování měniče – data z RAM do EEPROM	22
Tab. 2-7: Nastavování měniče – vyčítané hodnoty	30
Tab. 2-8: TIA portál – seznam vyčítaných hodnot a jejich nastavení	31
Tab. 2-9: Nastavování měniče – referenční hodnoty	32
Tab. 2-10: Nastavování měniče – rampa OFF3	39

Seznam obrázků

Obr. 1-1: Statická mechanická charakteristika asynchronního motoru [1]	10
Obr. 1-2: Mechanické charakteristiky při různé napájecí frekvenci [1]	11
Obr. 1-3: Náhradní T-schéma asynchronního stroje [5]	11
Obr. 1-4: Řízení rychlosti při konstantním U_1/f_1 a kompenzace úbytku na statorovém odporu R_1 [1]..	12
Obr. 1-5: Graf změřené závislosti $U1 = f(f1)$	14
Obr. 2-1: Integrovaný a externí BOP [2]	18
Obr. 2-2: Schéma jednotlivých menu na panelu BOP [2]	19
Obr. 2-3: Schéma zapojení při používání makra Cn010 [8]	22
Obr. 2-4: Schéma zapojení sestavy [3]	23
Obr. 2-5: Zakočovací odpor pro RS-485 [3]	23
Obr. 2-6: Blokové schéma zapojení soustavy	24
Obr. 2-7: TIA portál – přidávání hardwaru	25
Obr. 2-8: TIA portál – přidání knihovny	27
Obr. 2-9: TIA portál – schéma USS telegramu [2]	28
Obr. 2-10: TIA portál – složení PZD	29
Obr. 2-11: Původní (vlevo) a upravený (vpravo) FB "USS_DRV"	30
Obr. 2-12: TIA portál – normování výstupního proudu [2]	31
Obr. 2-13: TIA portál – funkce „speed_dir“	34
Obr. 2-14: Viditelnost obrazovek HMI panelu [9]	36
Obr. 2-15: Grafické rozhraní – struktura obrazovek	37
Obr. 2-16: TIA portál – obrazovka „Global screen“	37
Obr. 2-17: TIA portál – obrazovka „Template“	38
Obr. 2-18: Grafické rozhraní – spodní lišta	40
Obr. 2-19: Grafické rozhraní – horní lišta	41
Obr. 2-20: Grafické rozhraní – výchozí zadávací pole	42

ÚVOD

Není pochyb o tom, že nejpoužívanějším točivým strojem v průmyslu dnešní doby je asynchronní motor. Předurčuje ho k tomu jeho velké množství výhod oproti ostatním strojům, především jeho konstrukční jednoduchost a od toho odvozená i relativně snadná a levná sériová výroba. V dnešní době se už prakticky u všech nových aplikací upouští od metod řízení rychlosti asynchronního motoru jiných než změnou napájecí frekvence. V první kapitole této práce bude jedna z těchto metod podrobně popsána, konkrétně U/f řízení asynchronního motoru. [1] [5]

Stejně velký význam jako frekvenční řízení má již desítky let automatizace. Vývojovým trendem je ovládat a sledovat co nejvíce, ideálně pak veškeré části pohonu od napájení po technologii z jednoho místa. Většina komponent, především pak frekvenční měniče, mají možnost připojit se a být konfigurovány pomocí jednoduchých intuitivních rozhraní, např. PROFINET. [12] Levnější řady měničů však touto funkcí z důvodu cenové konkurenceschopnosti většinou nedisponují. Toto je případ i frekvenčního měniče Siemens SINAMICS V20, ovšem i zde je automatizace možná. Siemens vybavil tento měnič možností komunikovat s jinými zařízeními tzv. USS protokolem. Toto komunikační rozhraní je vyvinuto přímo firmou Siemens, a byť není tolik intuitivní, dovede přenášet data tak, aby bylo možné měnič ovládat a zároveň monitorovat jeho parametry zcela dostatečně. [11] Podstatná část této práce se tedy věnuje konfiguraci tohoto měniče tak, aby programovatelným logickým automatem (PLC) Siemens SIMATIC S7-1200 bylo možné rozběhnout, zabrzdit a měnit rychlost k měniči připojeného asynchronního motoru. To vše bude možné pomocí panelu Siemens SIMATIC HMI KTP700 Basic, a není tak nutné měnič ovládat přímo z nesnadno ovladatelného integrovaného panelu. [3] Pro tento panel bude vytvořeno funkční grafické rozhraní, ze kterého bude kromě ovládání pohonu uživateli umožněno i sledovat aktuální hodnoty několika vybraných parametrů měniče.

1 U/f řízení asynchronního motoru

Otáčivou rychlost asynchronního motoru lze řídit mnoha způsoby. Před vznikem polovodičových vypínatelných součástek to bylo možné např. změnou počtu pólů, kaskádním zapojením více strojů, změnou skluzu, nebo v malém rozsahu i změnou napájecího napětí. Tyto metody se v moderních pohonech nepoužívají. V prvním a druhém uvedeném případě rostla složitost strojů, tedy i jejich cena, v druhém a třetím případě pak je často nutné mít kroužkový motor a část energie kvůli řízení mařit v odporech. Později bude podrobně popsáno, že otáčivou rychlost je možné řídit změnou napájecí frekvence. Zařízení, které tuto změnu obstarává, se nazývá frekvenční měnič (FM). Jde o měnič typu AC-DC → DC-AC, který mění hodnotu vstupní frekvence na jinou, jak je žádáno. Tato metoda má mnoho výhod, např. velmi malé ztráty (účinnost FM se pohybuje okolo 98 %), nebo široké možnosti přizpůsobení nejen řízení, ale i rozběhu a brzdění. V této kapitole bude toto řízení podrobně popsáno.

Úhlová rychlost otáčení hřídele asynchronního motoru je dána vztahem:

$$\Omega = \Omega_1(1 - s) = \frac{2\pi f_1}{p_p}(1 - s) \quad (1)$$

kde: Ω [rad/s] je mechanická otáčivá rychlost rotoru motoru

Ω_1 [rad/s] je mechanická otáčivá rychlost magnetického pole ve vzduchové mezeře

s [-] je skluz

f_1 [Hz] je napájecí frekvence

p_p [-] je počet pólů

Ze vztahu (1) je patrné, že úhlová rychlost Ω , resp. Ω_1 je přímo úměrná napájecí frekvenci f_1 .

Moment zvratu asynchronního motoru lze vyjádřit vztahem:

$$M = \frac{3 U_1^2 p_p}{2 \omega_1^2 L_k} \quad (2)$$

kde: M [Nm] je točivý moment

U_1 [V] je napájecí napětí

L_k [H] je indukčnost nakrátko vypočítaná jako:

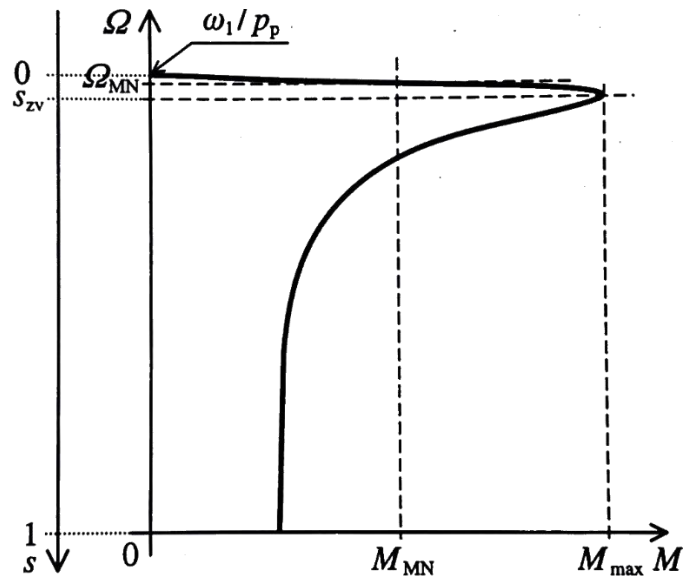
$$L_k = 2(L_{1\sigma} + L_{2\sigma}) \quad (3)$$

přičemž $L_{1\sigma}$ [H] je statorová indukčnost z náhradního T schématu

$L_{2\sigma}$ [H] je rotorová indukčnost z náhradního T schématu

Je vidět, že moment stroje M je nepřímo úměrný úhlové rychlosti Ω_1 , resp. napájecí frekvenci f_1 . S požadavkem na vyšší rychlost se tak moment bude snižovat a děj bude ztrácet na dynamičnosti. Z rovnice (2) je ale zřejmé, že při různých hodnotách napájecí frekvence U_1 lze dosáhnout zvolené hodnoty momentu udržováním konstantního poměru U_1/f_1 .

Pro další popis řízení touto metodou je nutné znát statickou mechanickou charakteristiku asynchronního motoru, tj. je závislost $\Omega = f(M)$ pro $U_1 = \text{konst.}$ a $f_1 = \text{konst.}$ Výsledná křivka je na Obr. 1-1.



Obr. 1-1: Statická mechanická charakteristika asynchronního motoru [1]

Popis zkratek z obrázku:

Ω_{MN} označuje rychlost v pracovním bodě

M_{MN} označuje moment v pracovním bodě

ω_1/p_p označuje rychlost naprázdno, a rovná se rychlosti naprázdno Ω_0

s_{zv} označuje skluz zvratu

M_{max} označuje moment zvratu

Pracovní oblast se nachází v oblasti malých skluzů, tj. v přímkové části charakteristiky. Tu lze popsat pomocí rovnice (4),

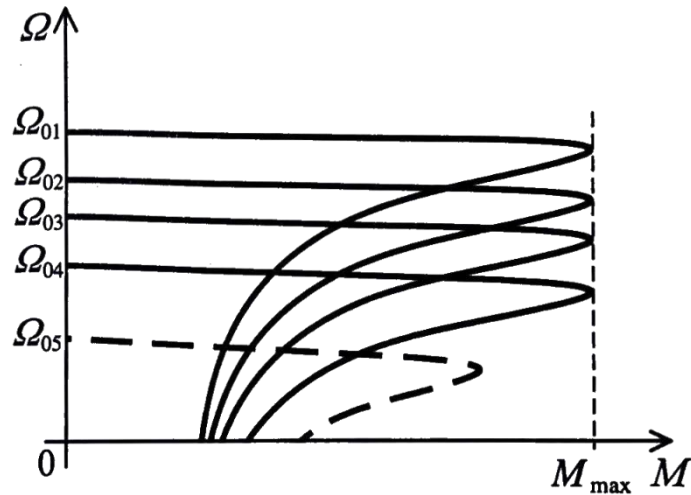
$$\Omega = \frac{\omega_1}{p_p} - K_m M = \Omega_0 - K_m M \quad (4)$$

kde: K_m [rad/s·Nm⁻¹] je konstanta

Ω_0 [rad/s] je synchronní rychlost

Z rovnice (4) je patrné, že synchronní rychlost, potažmo i rychlost naprázdno, je přímo úměrná rychlosti ω_1 , tedy i napájecí frekvenci f_1 . Z ní se dá též odvodit, jak se bude

měnit mechanická charakteristika motoru při změně jedné z těchto veličin (Obr. 1-2). Společně se zvyšováním napájecí frekvence se zvyšuje i rychlost naprázdno, a to odpovídá posunu celé charakteristiky po svislé ose Ω nahoru a naopak. Takto lze motor řídit pouze od nulové do jmenovité napájecí frekvence (při nízkých až nulových frekvencích se musí počítat s kompenzací R_1 , toto bude probráno později).



Obr. 1-2: Mechanické charakteristiky při různé napájecí frekvenci [1]

Popis zkratek z obrázku:

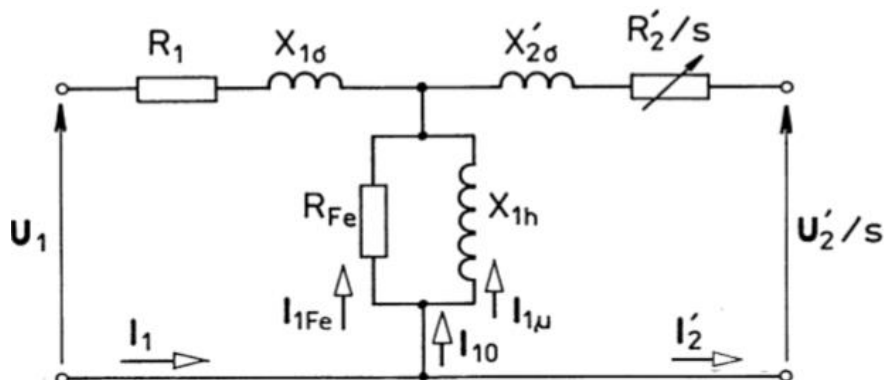
Ω_{01} až Ω_{05} označuje různé rychlosti naprázdno při různých frekvencích

Mechanická charakteristika při synchronní rychlosti Ω_{05} je odlišná od ostatních. To je dáno tím, že při nižších frekvencích roste velikost impedance rozptylové reaktance $L_{1\sigma}$, respektive $X_{1\sigma}$ podle vztahu (5) a začíná se přibližovat velikosti úbytku na odporu R_1 . Ten tak již při nižších frekvencích nelze zanedbat.

$$X_{1\sigma} = \omega_1 L_{1\sigma} = 2\pi f_1 L_{1\sigma} \quad (5)$$

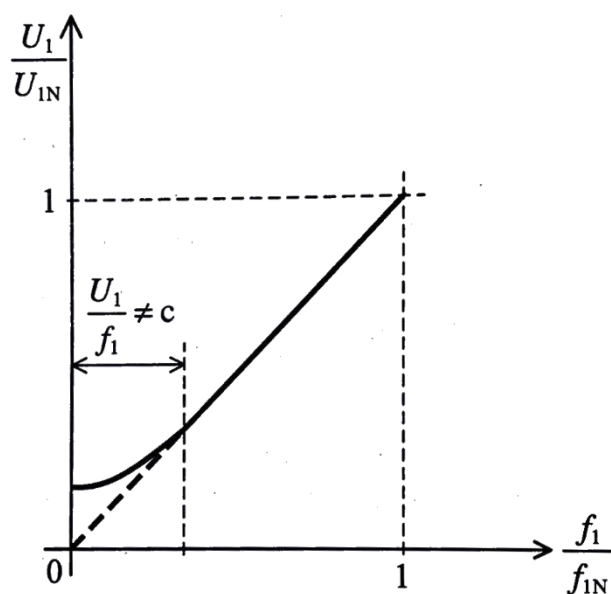
kde: $X_{1\sigma}$ [Ω] je rozptylová reaktance statorového vinutí

Úbytek na odporu R_1 způsobuje pokles napětí na svorkách motoru U_1 . Tím se zároveň snižuje moment zvratu M_{\max} , jak je naznačeno na Obr. 1-2 na průběhu se synchronními otáčkami Ω_{05} .



Obr. 1-3: Náhradní T-schéma asynchronního stroje [5]

Jak již bylo řečeno, regulujeme nejen napájecí frekvenci, ale i napájecí napětí motoru. Pokud tedy vlivem poklesu impedance $X_{1\sigma}$ vůči R_1 napájecí napětí klesá, můžeme provést korekci a napájecí napětí snižovat pomaleji. Tím sice porušíme dříve stanovenou podmínku, tedy že U_1/f_1 musí zůstat konstantní, nicméně pro zachování stejné hodnoty momentu zvratu M_{max} je tato oprava nutná. Na obrázku Obr. 1-4 je tato kompenzace statorového odporu znázorněna. Zde jsou napětí i frekvence vyneseny v poměrných jednotkách vztažených k jmenovitým hodnotám. [1]



Obr. 1-4: Řízení rychlosti při konstantním U_1/f_1 a kompenzace úbytku na statorovém odporu R_1 [1]

Popis zkratk z obrázku:

U_{1N} označuje jmenovité napětí

f_{1N} označuje jmenovitý kmitočet

Jak se poměr U_1/f_1 zmenšuje, je potřeba zmenšovat napětí pomaleji než frekvenci. Takto se z přímky přímé úměrnosti stává křivka, jejíž počáteční část se podle jejímu tvaru říká „šavle“. Bod, kdy je třeba kompenzovat vliv R_1 za nekonstantního U_1/f_1 je na tomto obrázku zobrazen asi ve 20 % jmenovitého napětí. Tento bod je ale ovlivněn například typem motoru, velikostí statorového odporu R_1 , velikostí rozptylové indukčnosti statoru $L_{1\sigma}$, respektive reaktancí $X_{1\sigma}$, napájecím napětím, nebo napájecí frekvencí. Jeho přesné umístění tedy není možné obecně určit. Určuje se s ohledem na zátěž vhodně.

1.1 Příklad kompenzace R_1 při U/f řízení

Jak je kompenzace R_1 při U/f řízení vyřešena na konkrétním frekvenčním měniči je možné si ověřit. Na soustavě frekvenčního měniče, asynchronního motoru a PLC, která bude detailně popsána v kapitole 2., je možné sejmout závislost $U_1 = f(f_1)$. Zjistíme tak, jak se liší teoretické průběhy z Obr. 1-4 od naměřených.

Tab. 1-1: Naměřené hodnoty závislosti $U_1 = f(f_1)$

Ω [RPM]	f_1 [Hz]	U_1 [V]	U_1/f_1 [V/Hz]	$\Delta(U_1/f_1)$ [V/Hz]
0	0,000	10,627	-	-
1	0,018	10,697	603,311	-
2	0,035	10,781	304,024	299,287
3	0,053	10,851	203,999	100,025
4	0,071	10,936	154,198	49,801
5	0,089	11,006	124,148	30,050
6	0,106	11,076	104,114	20,033
7	0,124	11,146	89,805	14,309
8	0,142	11,23	79,172	10,633
9	0,160	11,301	70,820	8,352
10	0,177	11,455	64,606	6,213
11	0,195	11,539	59,164	5,443
12	0,213	11,609	54,562	4,601
...				
1400	24,823	116,993	4,713	-
2800	49,645	228,400	4,601	-
2810	49,823	229,186	4,600	-
2820	50,000	229,986	4,600	-

Popis zkratk z tabulky:

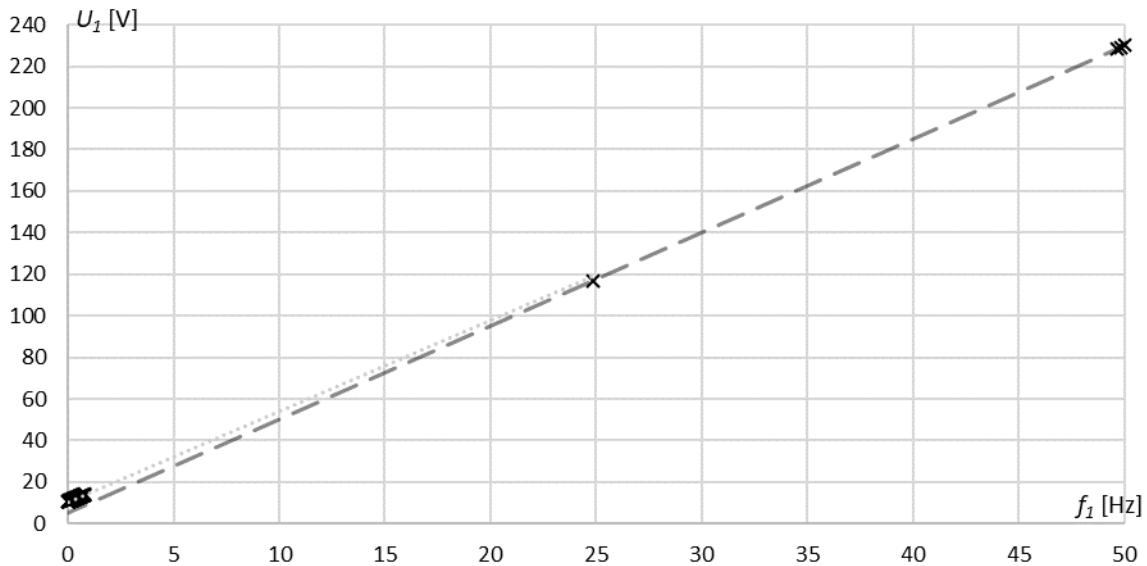
$\Delta(U_1/f_1)$ [V/Hz] označuje rozdíl mezi minulou a aktuální hodnotou U_1/f_1 při dané frekvenci

Podle teoretického rozboru je třeba měřit po velmi malých krocích hlavně při nízkých frekvencích. To je část, která by měla být nelineární a tvoří již zmíněnou „šavli“. Tab. 1-1 je proto rozdělena do dvou částí. První část tvoří právě tyto velmi nízké hodnoty frekvence. Jako krok byl zvolena 1 ot/min, ze kterého se příslušná frekvence dopočítala podle následujícího vzorce:

$$f_x = f_{1N} \frac{\Omega_x}{\Omega_{1N}} = 50 \frac{\Omega_x}{2820} \quad (6)$$

Pro výpočet byly použity hodnoty jmenovitých otáček a kmitočtu našeho konkrétního motoru. Celý štítek motoru je k nalezení v příloze A (Obr. A-1). Takto bylo změřeno 46 hodnot, tedy až do 45 ot/min (zde je zobrazeno pouze prvních 13 hodnot, celá tabulka je v příloze B jako Tab. B-1). Druhá část tabulky je tvořena pouze čtyřmi hodnotami frekvence, z nichž jedna je rovna jmenovitému kmitočtu f_N ($\Omega = 2820$ ot/min), další dvě jsou velmi blízko tomuto kmitočtu a poslední přibližně v padesáti procentech f_N . Zde se předpokládá, že je průběh lineární a měření po menších krocích není potřeba.

Z tabulky je vidět prudký pokles hodnoty U_1/f_1 s rostoucí frekvencí v rozmezí od 1 ot/min do 7 ot/min. Poměr U_1/f_1 se ale začíná rychle ustalovat, jak je vidět ze sloupce $\Delta(U_1/f_1)$. Tato hodnota se nikdy zcela neustálí. Rozdíly jsou ovšem při těchto frekvencích velmi malé. To lze vidět i z Obr. 1-5, kde je závislost $U_1 = f(f_1)$ vynesena do grafu. Graf je sestaven z naměřených hodnot, které jsou součástí přílohy B.



Obr. 1-5: Graf změřené závislosti $U_1 = f(f_1)$

Na obrázku Obr. 1-5 jsou vyneseny dvě přímky. Čárkovaná přímka vznikla proložením bodů z druhé části Tab. 1-1 a je protažena doleva až do hodnoty 0 Hz. Zde předpokládáme, že je U_1/f_1 konstantní. Tečkovaná přímka vznikla proložením první části tabulky a je protažena doprava až do hodnoty přibližně 25 Hz. Dále již nepokračuje, protože by při tomto měřítku os splývala s první přímkou. Ve skutečnosti se však tyto přímky protínají přibližně v bodě $f_1 = 41,5$ Hz. Přiblížením oblasti malých frekvencí bohužel není možné pozorovat jakýkoliv náznak křivky naměřené závislosti. Hodnota napětí při $f_1 = 0$ je rovna 10,627 V, odhadovaná hodnota napětí při $f_1 = 0$ při stálém dodržování podmínky $U_1/f_1 = \text{konstanta}$ je asi 5,8 V.

Vidíme, že na rozdíl od ideálního průběhu na Obr. 1-4 je v tomto případě rozdíl téměř neznamatelný. Ačkoliv se U_1/f_1 v nízkých frekvencích měnilo velmi výrazně, rychle se tyto rozdíly začaly zmenšovat. Mezi hodnotami U_1/f_1 při $\Omega = 45$ ot/min byl už rozdíl pouhých 0,294. Vzhledem k tomu, že při $\Omega = 45$ ot/min byla hodnota U_1/f_1 rovna 17,682 se dá považovat tento poměr za konstantní. A vzhledem k tomu, že 45 ot/min je přibližně 1,6 % jmenovitých otáček, dá se v tomto konkrétním případě tato kompenzace R_1 považovat za zanedbatelnou.

2 Konfigurace řídicí části pohonu

V této kapitole je podrobně popsán postup, jak nakonfigurovat jednotlivé komponenty pohonu s asynchronním motorem. Postup začíná konfigurací frekvenčního měniče SINAMICS V20 tak, aby pomocí USS protokolu komunikoval s PLC SIMATIC S7-1200. Pomocí této komunikace bude možné rozběhnout, zastavit a měnit otáčivou rychlost asynchronního motoru SIMOTICS. Zároveň bude možné z měniče vyčíst některé požadované parametry. Žádaná akce bude zadávána příkazy na dotykovém panelu SIMATIC HMI KTP700 Basic, pro nějž bude vytvořeno grafické rozhraní vhodné pro tento účel. Konfigurace komponent je popsána tak, aby se dalo podle následujícího textu postupovat jako podle manuálu.

2.1 Hardware a software

V Tab. 2-1 je seznam veškerého použitého hardwaru potřebného pro konfiguraci. V závorce vedle každé komponenty je její objednávací číslo jakožto její jednoznačný identifikátor. Kompletní informace o komponentě lze zjistit po zadání tohoto objednávacího čísla do vyhledávače na stránce Siemens Industry Mall, která je k nalezení i na následujícím odkazu:

<https://mall.industry.siemens.com/goos/WelcomePage.aspx?regionUrl=/CZ&language=cs>

Pod komponentou je případně krátký souhrn nejdůležitějších parametrů.

Tab. 2-1: Seznam použitého hardware

Frekvenční měnič SINAMICS V20		(6SL3210-5BB12-5AV0)	
(FW: 4.51)	200-240 V	jednofázový	Vestavěný BOP
Jmenovitý výkon 0.25 kW s možností 150% přetížení po dobu 60 sekund			
I/O (vstupy a výstupy): 4 DI, 2 DQ, 2 AI, 1 AO			Velikost A
Komunikační rozhraní: USS/Modbus		Stupeň ochrany: IP20/UL open	
Externí panel BOP		(6SL3255-0VA00-4BA1)	
Rozhraní pro připojení externího BOP		(6SL3255-0VA00-2AA1)	
Zakončovací odpor RS-485 (50 ks)		(6SL3255-0VC00-0HA0)	
Kabel V10-1 pro externí BOP – 3m		(6SL3256-0VP00-0VA0)	

PLC SIMATIC S7-1200		(6ES7215-1AF40-0XB0)
(FW: V4.2)	CPU 1215 FC, DC/DC/DC	2 PROFINET porty
I/O: 14 DI, 10 DO, 2 AI, 2 AO	Napájení: 20.4-28.8V DC	
Programová/datová paměť 150 KB		
Zdroj SIMATIC S7-1200 PM1207		(6EP1332-1SH71)
Komunikační modul pro RS485 CM 1241 (FW: V1.0)		(6ES7 241-1CH30-0XB0)
Panel Simatic HMI KTP700 Basic PN		(6AV2 123-2GB03-0AX0)
(Verze: 15.1.0.0)	Ovládání tlačítky, nebo dotykem	7“ TFT displej
PROFINET port	65536 barev	nastavitelné pomocí STEP 7 Basic V13
Asynchronní motor SIMOTICS		(1LA7060-2AA10)
Nízkonapěťový motor zapojený do Y	klec nakrátko	IP55
Teplotní třída 155(F)	0.21 kW	2pólový
3 AC 50 Hz 230 VD/400 VY, 220-240/380-420 (50)		

Komunikace a řízení měniče společně s grafickým rozhraním HMI Panelu bylo nastaveno TIA portálem verzi 15.1. Kompletní seznam softwaru nainstalovaného na PC kde konfigurace probíhala je v Tab. 2-2.

Tab. 2-2: Seznam použitého softwaru

Jméno	Verze	Vydání
Automation License Manager	V6.0 + SP1	06.00.01.00_02.01.00.02
S7-PLCSIM	V5.4 + SP8	V05.04.08.01_01.24.00.01
SIMATIC ProSave	V15.1	V15.01.00.00_28.01.00.01
SIMATIC S7-PLCSIM	V15.1	V15.01.00.00_28.00.00.01
SIMATIC STEP 7 Professional - WinCC Professional	V15.1	V15.01.00.00_28.01.00.01
SIMATIC WinCC Runtime Advanced Simulation	V15.1	V15.01.00.00_28.01.00.01
SIMATIC WinCC Runtime Professional Simulation	V15.1	V15.01.00.00_28.01.00.01
SINAMICS G110M, G120, G120C, G120D, G120P	V15.1	V15.01.00.00_37.00.00.01

Jméno	Verze	Vydání
SINAMICS G130, G150, S120, S150, SINAMICS MV, S210	V15.1	V15.01.00.00_37.00.00.01
STARTER	V5.3.0.1	V05.03.00.01_05.30.13.05
STEP 7 OEM	V5.6 + HF1 OEM2	K5.6.0.1_5.2.0.1
TIA Administrator	V1.0	V01.00.00.00_01.00.00.01
TIA Openness	V15.1	V15.01.00.00_37.00.00.01
TIA Portal Multiuser Server	V15.1	V15.01.00.00_28.01.00.01
User Management Component x64	V1.9 SP1	V01.20.00.00_01.01.00.01

2.2 Konfigurace frekvenčního měniče Siemens SINAMICS V20

Frekvenční měnič Siemens SINAMICS V20 je základem nabídky měničů firmy Siemens. Typicky se používá pro jednoduché aplikace, jako jsou čerpadla, kompresory, dopravníkové pásy, nebo ventilátory. V sedmi konstrukčních velikostech pokrývá výkonové rozmezí mezi 0,12 kW a 30 kW. Nabízí mnoho různých funkcí, jako třeba aplikační a zapojovací makra, mód „keep running“ zajišťující bezproblémový chod na nestabilních sítích, ECO mód a další. [10] Měnič je možné ovládat přes PLC použitím USS protokolu firmy Siemens. USS protokol (z německého „Universelles serielles Schnittstellen-Protokoll“) zajišťuje komunikaci přes PLC a měničem na principu Master-Slave. Komunikace probíhá výměnou tzv. USS telegramů – více v podkapitole 2.3.2.5.

Nejprve je třeba připravit měnič ke komunikaci s PLC nastavením několika základních parametrů v samotném měniči. V této části je tedy zároveň ukázáno, jak lze měnič ovládat bez použití PLC, což je možné provést několika způsoby. První nastavení je možné jedním ze tří způsobů:

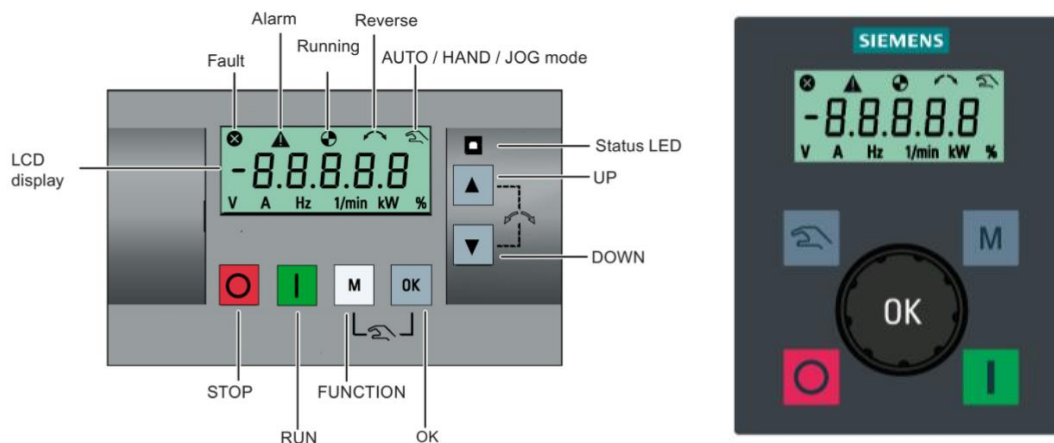
- Pomocí integrovaného BOP
- Pomocí externího BOP
- Pomocí modulu Smart Access

BOP, z anglického Basic Operator Panel, je nejlevnější řešení. Integrovaný BOP je přímo součástí každého měniče SINAMICS V20, externí BOP je lehce pozměněná verze integrovaného BOP a používá se k montáži na dveře rozvaděče. Modul Smart Access je dražší, avšak mnohem jednodušší řešení. Změna parametrů a ovládání měniče se provádí v internetovém prohlížeči. Počítač (nebo mobilní telefon) se s modulem propojí bezdrátově.

2.2.1 Ovládání měniče pomocí externího BOP

Integrovaný i externí BOP mají stejně velké displeje schopné zobrazit pět číslic se znaménkem. Na displeji se dále nachází indikace chyby, alarmu a běhu motoru, směr otáčení, režim ovládání (AUTO, HAND a JOG) a jednotky, ve kterých jsou zobrazené veličiny udány.

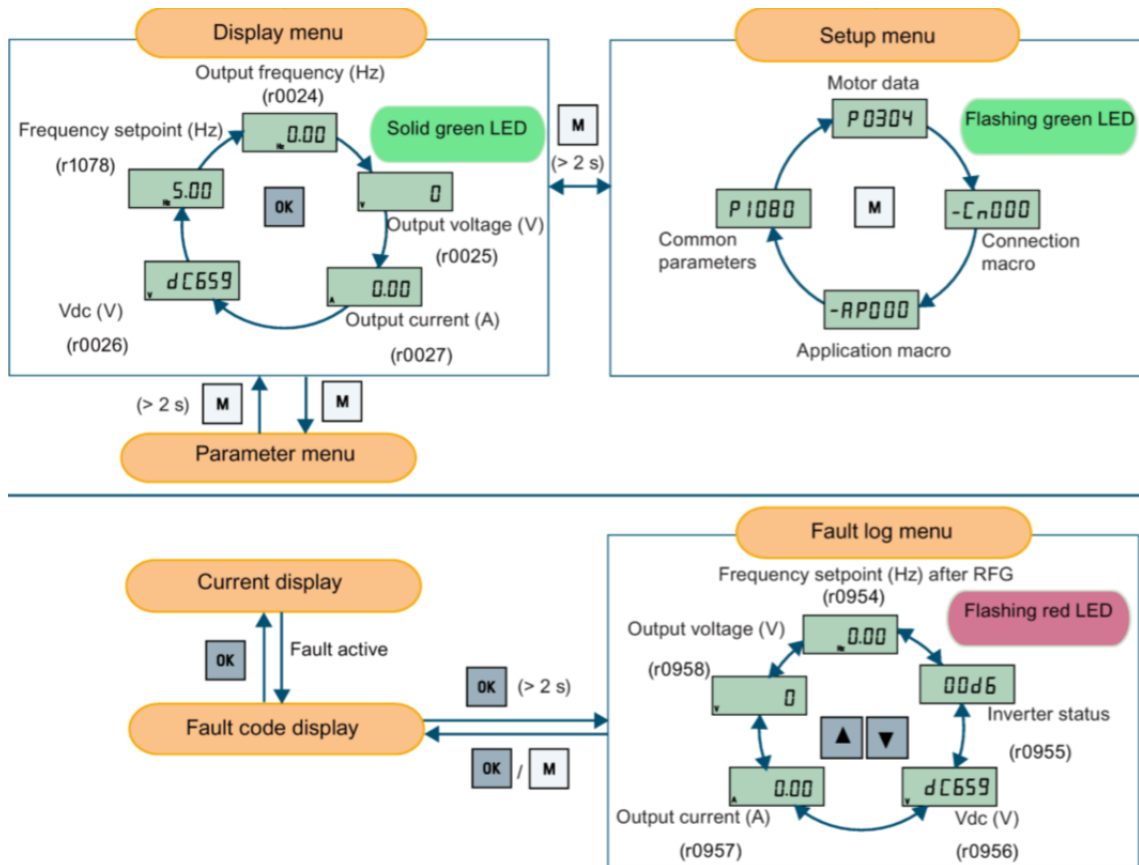
Z obrázku Obr. 2-1 jsou zřejmé malé rozdíly mezi panely integrovaného a externího BOP. Šipky nahoru a dolů jsou na externím BOP nahrazeny otočným tlačítkem. Z externího BOP není možné motor reverzovat přímo, což se na integrovaném BOP provede stisknutím šipek nahoru a dolů zároveň. Přepínání režimu ovládání je v integrovaném BOP možné stisknutím tlačítka „M“ a „OK“ dohromady, externí BOP má pro tuto funkci vyhrazené samostatné tlačítko. Mezi těmito obrázky a fotkami zapojení z přílohy A jsou vidět drobné rozdíly v rozložení prvků na displeji. Ty jsou způsobeny různou verzí firmwaru samotného panelu a měniče.



Obr. 2-1: Integrovaný a externí BOP [2]

Parametry v měniči se dělí na „r“ (čtecí) a „P“ (přepisovatelné). Např. parametr `r0010` filtruje zobrazované parametry dle stavu měniče. Tento lze tedy měnit a tím se mění nastavení měniče. Parametr `r0027` označuje, že je pouze pro čtení. Zobrazovaná hodnota je v tomto případě výstupní proud z měniče a nelze ji nijak měnit. Parametry mohou mít i více indexů. V takovém případě se při požadavku na zobrazení objeví nejdříve `in0000`, kde se měnič ptá jaký index daného parametru si přejeme zobrazit, nebo upravit. Při odkazování na takový parametr se pak píše např. `r0037[0]`, což značí index 0 parametru `r0037`. Při zadávání parametru s indexem do jiného parametru na měniči je index odlišen tečkou, např. při zadávání `r0037[1]` je nutné na měniči nastavit `37.1`.

Na Obr. 2-2 je schéma jednotlivých menu. Zároveň je zde i naznačeno, jak se pohybovat mezi možnostmi v rámci jednotlivých menu a také jak přecházet mezi samotnými menu.



Obr. 2-2: Schéma jednotlivých menu na panelu BOP [2]

2.2.2 Příprava měniče na komunikaci s PLC pomocí externího BOP

Na měniči bude pomocí BOP potřeba změnit několik parametrů. Změny budou popisovány chronologicky, ne všechny jsou tedy popsány v této podkapitole. Seznam všech změněných parametrů je v příloze A, (Tab. A-1).

- Tovární nastavení

Protože si nikdy nemůžeme být jisti jestli, nebo jak byl měnič dříve používán a jaké parametry byly nastavovány, je doporučeno ze všeho nejdřív nahrát do měniče tovární data. Měnič se tak z hlediska softwaru uvede do stavu, ve kterém opouští výrobní linku, a mělo by tak být zaručeno, že nějaký dříve nastavený parametr nezpůsobí problémy s konfigurací.

Tab. 2-3: Nastavování měniče – tovární nastavení

Parametr	Stará → nová hodnota	Název	Popis
P00 10	0 → 30	Commissioning parameter	Filtrace parametrů dle stavu měniče
P0970	0 → 21	Factory reset	Spouští tovární nastavení

- Vložení informací o napájecí soustavě a štítkových údajů motoru

Na displeji se po továrním nastavení zobrazí „50?“ Tímto se nastavuje parametr P0100. Tímto parametrem nazvaným „Europe/North America“ se nastaví výchozí jednotky výkonu (kW, hp) a výchozí frekvence sítě (50 Hz, 60 Hz). Je možno zvolit kombinaci „50?“, která tyto hodnoty nastaví na kW a 50 Hz. Dále pokračujeme štítkovými hodnotami motoru dle Tab. 2-4 (štítek našeho konkrétního motoru je k nalezení v příloze A na Obr. A-1):

Tab. 2-4: Nastavování měniče – zadávání štítkových údajů

Parametr	Stará → nová hodnota	Název	Popis
P0304	230.00 → 230.00	Rated motor voltage [V]	Jmenovité napětí motoru
P0305	1.10 → 0.88	Rated motor current [A]	Jmenovitý proud motoru
P0307	0.50 → 0.18	Rated motor power	Jmenovitý výkon motoru, jednotky dle P0100
P0308	0.60 → 0.82	Rated motor cosφ	Jmenovitý účinník motoru
P0310	50.00 → 50.00	Rated motor frequency [Hz]	Jmenovitá frekvence motoru
P0311	1395 → 2820	Rated motor speed [RPM]	Jmenovitá rychlost otáčení motoru
P1900	0 → 2	Select motor data identification	Aktivace identifikace parametrů motoru

Nastavení posledního parametru bude mít za následek zobrazení alarmu „A541 – Motor data identification active“. Ten upozorňuje, že při prvním spuštění měniče bude nejdříve zahájena identifikace parametrů motoru. Měnič si sám změří mj. indukčnosti a odpory z náhradního schématu. Během identifikace se motor neotáčí, ovšem není zabrzděn.

- Nastavení makra

Po zadání štítkových hodnot motoru a stisknutí tlačítka M se na displeji objeví „Cn000“, tedy výběr makra. Měnič V20 má v paměti přímo z výroby nahraných 11 maker. Ta jsou jednoduchým seznamem parametrů, které měnič připraví na nejobvyklejší způsoby řízení. Nejnázornější je např. makro „Cn002 – Control from terminals

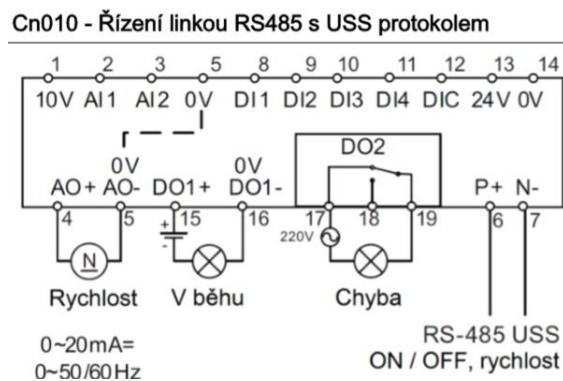
(PNP/NPN)¹. To nastaví výběr setpointu¹ pomocí analogového vstupu (potenciometru), který správně nakonfiguruje a dále nastaví funkce každému ze čtyř digitálních vstupu (DI) na ON/OFF, reverzace, kvitace chyby, JOG dopředu. Toto makro tedy změní celkem devět parametrů pomocí jednoho stisknutí. Jde tedy o velmi užitečný nástroj. Pro naše účely nejvíce vyhovuje makro „Cn010 – USS control,“ které automaticky nastaví následující parametry:

Tab. 2-5: Nastavování měniče – makro Cn010

Parametr	Stará	→	nová hodnota	Název	Popis
P0700	1	→	5	Selection of command source	Výběr zdroje řídicího signálu
P1000	1	→	5	Selection of frequency setpoint	Výběr zdroje setpointu
P2010	6	→	8	USS/MODBUS baudrate	Maximální přenosová rychlost
P2011	0	→	1	USS address	Přiřazení unikátní adresy měniče
P2012	2	→	2	USS PZD length	Určuje délku PZD části telegramu
P2013	127	→	127	USS PKW length	Určuje délku PKW části telegramu
P2014	2000	→	500	USS/MODBUS telegram off time [ms]	Čas, po kterém přijde chyba, pokud měnič neobdrží telegram
P2023	1	→	1	RS485 protocol selection	Výběr protokolu

Schéma zapojení při používání tohoto makra je na Obr. 2-3. Je vidět, že nebude potřeba využívat žádné digitální vstupy či výstupy. Zapojovat budeme pouze kontakty pro USS komunikaci (na obrázku P+ a N-) a Zakončovací odpor pro linku RS-485. Podrobněji se tomuto zapojení věnuje kapitola 2.3.1.

¹ Setpoint – žádaná hodnota, v této práci jde vždy o otáčivou rychlost



Obr. 2-3: Schéma zapojení při používání makra Cn010 [8]

Mimo to je možné z paměti nastavit i čtyři různá aplikační makra, která fungují na podobném principu. Aplikační makra nastavují náběhové a doběhové rampy, maximální a minimální frekvenci a jiné. Tato makra jsou vhodná pro aplikace s čerpadly, ventilátory, kompresory, nebo dopravníkovými pásy. V našem případě není potřeba toto makro použít, jelikož se jedná o aplikaci pro laboratorní účely bez zátěže.

Poslední parametr, který je nutné nastavit z BOP, je P0971. V tomto případě je nutné přejít do DISPLAY menu dlouhým přidržením tlačítka „M“ a poté přejít do PARAMETR menu krátkým stiskem tlačítka „M“. Tam nastavíme:

Tab. 2-6: Nastavování měniče – data z RAM do EEPROM

Parametr	Stará → nová hodnota	Název	Popis
P0971	0 → 21	Transfer data from RAM to EEPROM	Kopírování dat do stálé EEPROM měniče

Tímto zajistíme, že se nastavené parametry nevymažou z volatilní RAM, protože zůstanou uložené v nevolatilní EEPROM měniče. Po tomto kroku můžeme dokončit nastavení měniče tím, že jej vypneme. Je nutné počkat na úplné vypnutí – tedy sledovat LED kontrolku, dokud nezhasne a poté jej opět zapnout. Tímto je měnič připraven ke komunikaci pomocí USS protokolu.

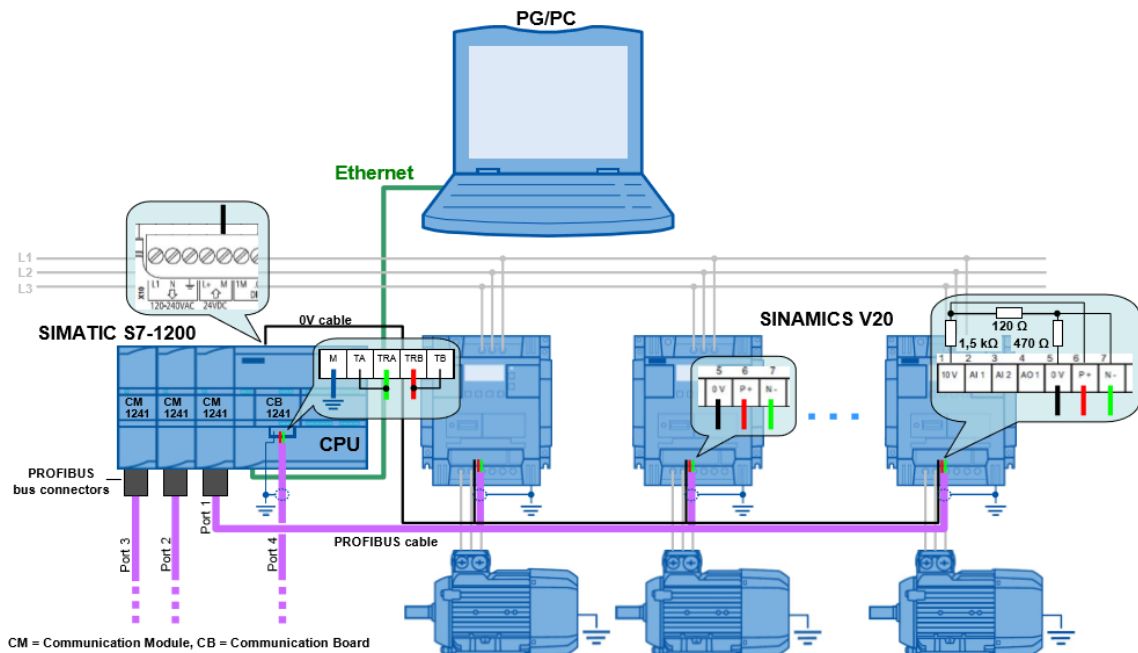
2.3 Konfigurace PLC Siemens SIMATIC S7-1200

PLC Siemens SIMATIC S7-1200 je kompaktní zařízení pro nízké až středně náročné aplikace. Již v základu disponuje digitálními a analogovými vstupy a výstupy, které se navíc dá rozšířit velkým množstvím příslušenství. [12]

Je-li měnič připravený ke komunikaci s PLC, můžeme zapojit všechny komponenty do funkčního celku. Po jejich správném propojení je potřeba připravit program pro PLC, tedy přiřadit do programu správný hardware a následně zprovoznit komunikaci mezi PLC a měničem V20.

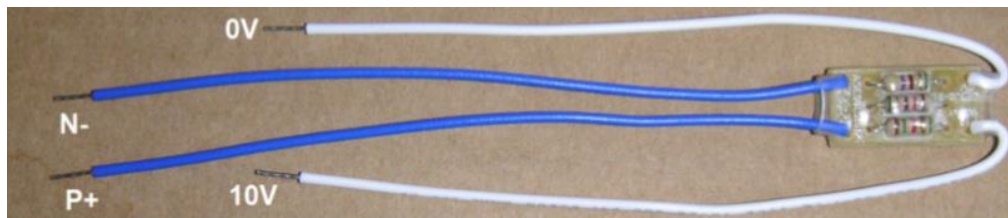
2.3.1 Propojení komponent

Před psaním samotného programu a vytvářením grafického rozhraní je dobré si celou sestavu zapojit, aby bylo možné si výsledek rovnou kontrolovat na skutečném hardwaru. Takto se lépe odhalí případné chyby při programování. Pro lepší představu, jak jednotlivé komponenty zapojit, nám dobře poslouží Obr. 2-4, ačkoliv v našem konkrétním případě se zapojení trochu liší.



Obr. 2-4: Schéma zapojení sestavy [3]

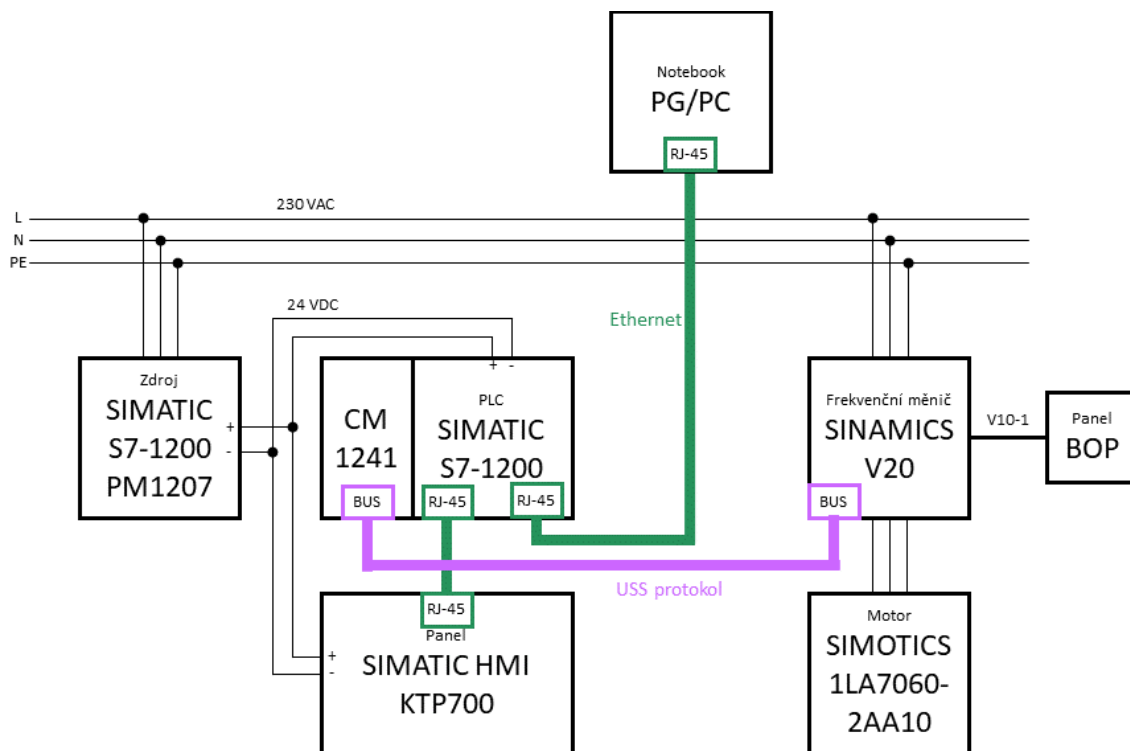
Na přibližné svorkovnici posledního měniče (úplně vpravo) je vidět zapojení zakončovacích odporů pro RS-485. To je nutné pro správnou funkčnost komunikace a na jeho připojení je nutné pamatovat. Obrázek přímo zobrazuje, který vývod připojit na jaké svorky. V případě, že je využíván odpor poskytovaný přímo firmou Siemens, vyráběný firmou EPLAN ENGINEERING, s.r.o., jsou jednotlivé vývody označeny přímo na něm a zapojení je tak velmi jednoduché.



Obr. 2-5: Zakončovací odpor pro RS-485 [3]

Na obrázku je třífázový měnič, avšak v našem případě je měnič jednofázový. Pracujeme také pouze s jedním měničem, nikoliv se třemi. Měnič na obrázku je propojen PROFIBUS kabelem (znázorněno fialově) - v našem případě ho používáme také, ale data přenášíme pomocí USS protokolu. Tento kabel vede do komunikačního modulu (CM)

1241, který je připojen k PLC. Protože ovládáme pouze jeden měnič², stačí nám pouze jeden CM 1241. Na obrázku je dále zobrazen CB 1241, tedy komunikační deska. Jde ovšem o stejné zařízení, jako je CM, pouze se jinak upevňuje na PLC. Na přiblížené svorkovnici posledního měniče (úplně vpravo) je vidět propojení pomocí 0 V kabelu (znázorněno černě). Tento je potřeba opět pouze při zapojení více měničů, pro nás je tedy opět nepotřebný. Na obrázku také chybí zapojení panelu SIMATIC HMI KTP700. Ten je připojen stejně jako PLC a PC na obrázku, tedy ethernet kabelem (znázorněno zeleně). Připojuje se do druhého RJ-45 portu na PLC. Zjednodušené blokové schéma znázorňující naši konkrétní aplikaci je na Obr. 2-6. Schéma respektuje rozložení komponent a barevné značení zavedené Obr. 2-4. Zároveň ještě doplňuje k měniči V20 panel BOP a zdroj pro PLC a panel HMI KTP700. Obrázek zapojené soustavy je možné nalézt v příloze A jako Obr. A-6.



Obr. 2-6: Blokové schéma zapojení soustavy

2.3.2 TIA portál

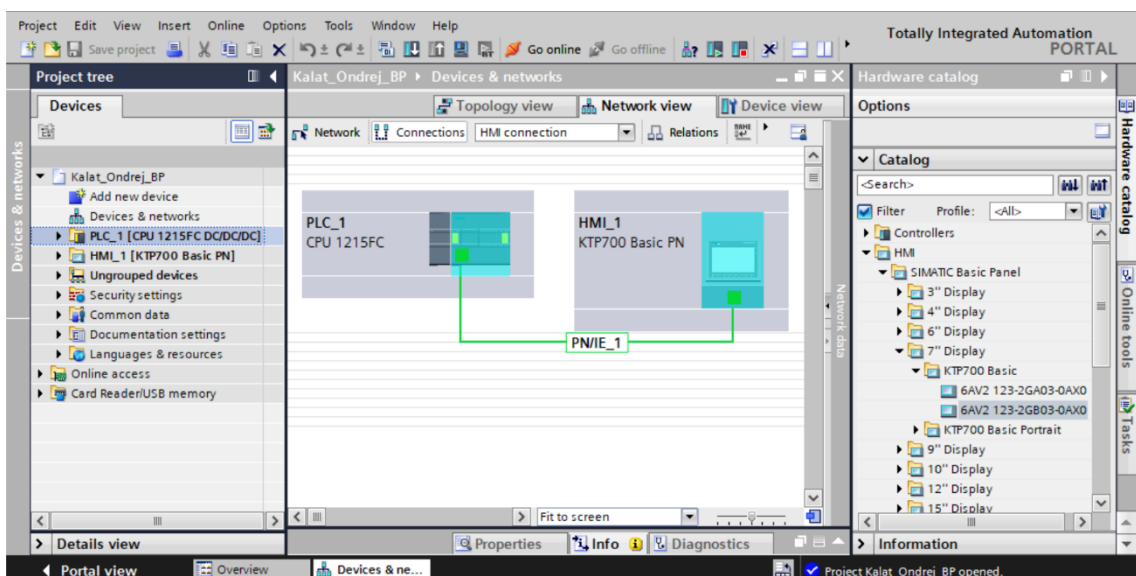
Totally Integrated Automation Portal, zkráceně TIA portál je software firmy Siemens, s jehož pomocí je možné konfigurovat a programovat téměř celé portfolio zařízení. Mimo PLC, různé typy panelů a měničů také softstartéry, síťové prvky, snímače a monitorující zařízení, zdroje a další. V softwaru lze také navrhovat grafická rozhraní pro panely, nastavovat parametry měničů, případně provádět rozsáhlé simulace všech těchto zařízení.

² Pomocí jednoho CM je možné připojit až 16 měničů.

Podrobný popis konfigurace projektu, všech možností nastavení, popis funkčních bloků a mnohých dalších funkcí TIA portálu by vystačil na samostatnou práci. Zde budou stručně popsány pouze nejdůležitější části při vytváření programu a zároveň nastavení, která nejsou úplně zřejmá z jiných návodů nebo nápověd. Podrobný popis vytváření projektu, přidávání správného hardwaru do projektu a další základní nastavení je k nalezení v manuálech [3], [4] a [6] ze seznamu použité literatury, nebo přímo v nápovědě TIA portálu.

2.3.2.1 Přidání hardwaru do projektu

Prvním krokem po vytvoření nového projektu v TIA portálu je přidání komponent, které budou konfigurovány. V našem případě PLC a panel. Frekvenční měnič nedisponuje možností konfigurace přímo z tohoto softwaru. Komponenty se přidávají v záložce „Devices & networks“. Zařízení se dá v programu vyhledat dle objednáčích čísla. Pokud objednáčí číslo neznáme, lze u některých zařízení přidat blok např. „Nespecifikované PLC řady 1200“ a program po prvním připojení sám identifikuje a vloží patřičné zařízení. Obr. 2-7 ukazuje kartu „Devices & networks“. V levé části nazvané „Project tree“ je možné přepínat mezi jednotlivými kartami. Pro každé zařízení se sem vloží složka karet, kde je možné toto zařízení konfigurovat. V pravé části nazvané „Hardware catalog“ se vybírá hardware. Je zde označený panel používaný v našem případě. Prostřední část pak zobrazuje samotnou kartu „Devices & networks“. V horní části je přepnuto na „Network view“, pomocí čehož je možné sledovat propojení hardwaru. V tomto případě je síť jednoduchá – PLC je propojeno s panelem. Toto propojení se nevytvoří automaticky. Lze ho provést jednoduchým přetažením ze zeleného čtverečku jednoho zařízení do druhého. Tímto se propojí pomocí komunikačního rozhraní PROFINET.



Obr. 2-7: TIA portál – přidávání hardwaru

Nyní je možné zkompileovat a nahrát program do zařízení pomocí tlačítka „Download to device“. Kompilovat lze také průběžně a je doporučeno to dělat, neboť se tak odhalí případné chyby.

2.3.2.2 Programování v TIA portálu

Bloky v programu je možné programovat pomocí jazyku LAD. Jedná se o grafický programovací jazyk. S jeho pomocí je možné vytvářet přehledná liniová schémata a z nich následně funkční bloky. Bloky se obecně dělí do čtyř skupin:

- Organizační blok (OB)

Do této kategorie patří například hlavní programová smyčka Main. Je zde na výběr mezi více typy bloků, například cyklické přerušení, nebo hardwarové přerušení.

- Blok funkce (FB)

Jde o funkci, která si po proběhnutí uchová svoji hodnotu a je možné se k ní později vrátit.

- Funkce (FC)

Tento blok zpracuje data a předá výstupní hodnotu, kterou následně maže. FC i FB lze používat opakovaně jako vnořené funkce (funkce ve funkci).

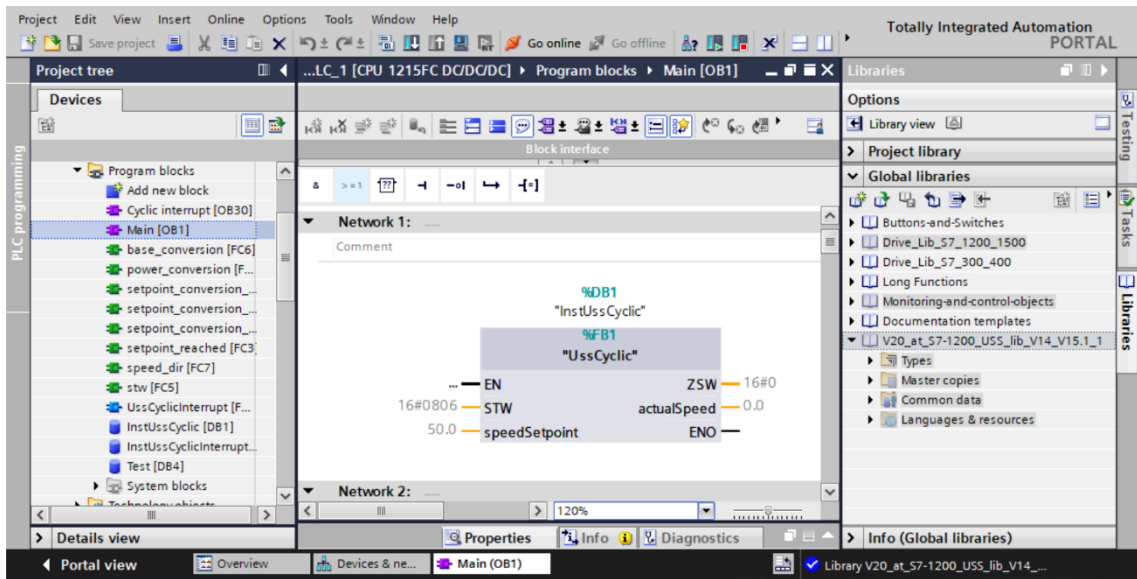
- Datový blok (DB)

Jde v podstatě o tabulku proměnných, často svázanou s určitým FB, nebo FC. Rozdělení do více takových bloků napomáhá přehlednosti programu.

Důležitou funkcí použitelnou napříč všemi těmito bloky je funkce monitoringu. Se správně připojeným počítačem je možné sledovat hodnoty proměnných online. To je velmi užitečná funkce při ladění programu.

2.3.2.3 Přidání knihovny USS komunikace pro V20

Příprava programu obsluhující komunikaci mezi PLC a měničem je rozdělena na dvě části. Jsou to jednak bloky, které je nutné celé naprogramovat od začátku, ke kterým se dostaneme později. Základní bloky pro komunikaci je možné stáhnout a přidat do projektu z předem připravené knihovny. Tyto knihovny obsahují bloky naprogramované stejným způsobem, jak je popsáno v podkapitole 2.3.2.8. Jsou vytvořené přímo firmou Siemens. Použití těchto bloků je velmi jednoduchý způsob, jak zahájit komunikaci pomocí USS protokolu. Jejich nevýhoda spočívá v tom, že jsou chráněny proti modifikaci, jelikož se jedná o know-how firmy. Pro požadovanou aplikaci není modifikace bloků nutná. Knihovny lze získat jejich stažením (odkaz k nalezení v [3], nebo [4]). Na Obr. 2-8 je zobrazena karta organizačního bloku „Main“. Podrobný popis programu bude následovat. V pravé části „Libraries“ je označená knihovna, ze které přebíráme programové bloky.



Obr. 2-8: TIA portál – přidání knihovny

2.3.2.4 Příprava bloků z knihovny

Při tvorbě programu je nutné nejdříve do programu přidat bloky obsažené v dříve přidané knihovně. Provedeme to jednoduchým přetažením všech souborů do oblasti „Project tree“. V programu se nám tak vytvoří následující bloky.

- UssCyclic

Jde o blok typu FB, používaný v bloku Main. Tento blok obsahuje FB „USS_DRV“, který zpracovává přijímání stavových slov a odesílání řídicích slov – více v podkapitole 2.3.2.6. Zde se také pomocí nastavení jedinečné adresy měniče vybírá, který pohon řídíme, pokud je jich zapojeno více. Součástí tohoto bloku jsou také bloky DB s názvem „InstUssDrv“ a „InstUssCyclic“.

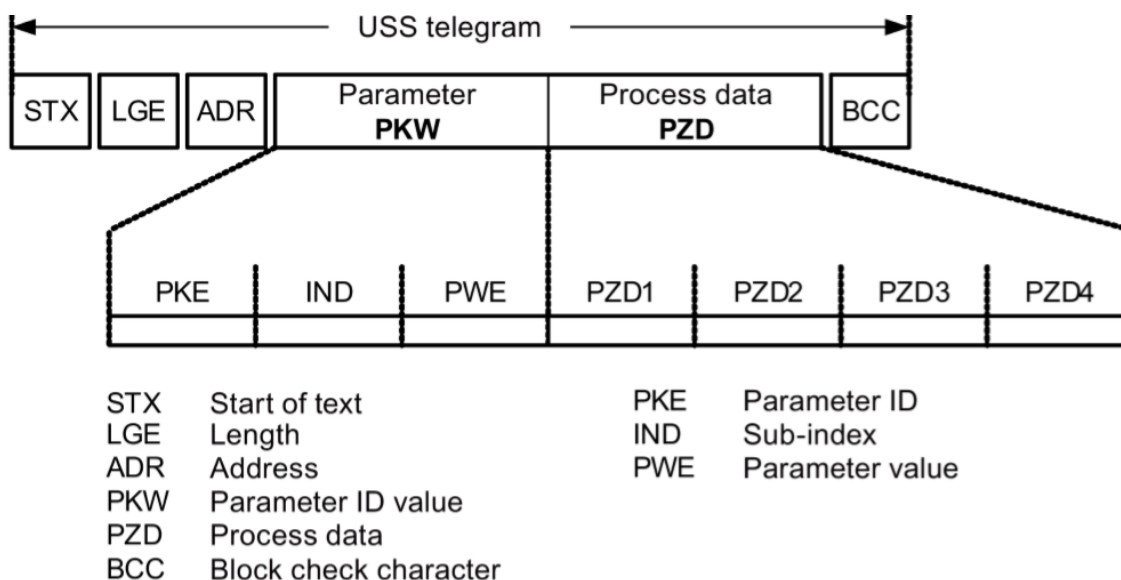
- UssCyclicInterrupt

Blok typu FC, umístěný v OB „Cyclic interrupt“. Zde se nastavuje rychlost datových přenosů pomocí USS protokolu, je zde identifikátor pro každý pohon, součástí této funkce je také vnořená funkce „USS_PORT“, která zpracovává a přenáší chyby od měniče. Součástí bloku je DB s názvem „InstUssCyclicInterrupt“

Před dalším pokračováním je nutné zkontrolovat v bloku „USS_PORT“ zda přenosová rychlost (baudrate) a identifikátor měniče (hwIdentifier) odpovídá hodnotám nastaveným v měniči. Tímto se zabývá podkapitola 2.2.2. Dále je třeba upravit FB „USS_DRV“. Zde je možné nastavit informace, které budeme vyčítat z měniče a zároveň parametry, které budeme měnit a tím měnič řídit. Před tím je ale nutné si blíže popsat, jak samotný přenos dat pomocí USS protokolu funguje.

2.3.2.5 USS telegram

Přenos dat mezi měničem a PLC pomocí USS protokolu probíhá pomocí cyklicky odesílaných zpráv, tzv. USS telegramů. Jde o uspořádaná data rozdělená do několika vždy stejně po sobě jdoucích bloků. Obr. 2-9 ukazuje jejich posloupnost a stručný popis.



Obr. 2-9: TIA portál – schéma USS telegramu [2]

Popis zkratk z obrázku:

STX označuje začátek nového telegramu.

LGE označuje délku tohoto konkrétního telegramu, protože jejich délka se může lišit.

ADR obsahuje unikátní adresu měniče/PLC, kterému je telegram adresován.

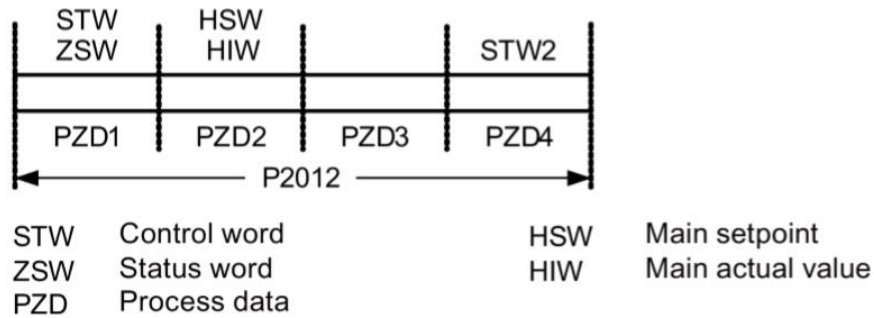
PKW slouží k čtení a zapisování parametrů z/do měniče a dále obsahuje:

- PKE – označení konkrétního parametru, např. r0037 (Teplota měniče [°C])
- IND – označení indexu, pokud ho parametr má, např. u r0037 je možný index 0 pro teplotu pasivního chladiče měniče a index 1 pro celkovou teplotu PN přechodu na IGBT tranzistorech. Podrobněji se indexy parametrů zabývá podkapitola 2.2.1.
- PWE – hodnota tohoto parametru

PZD přenáší řídicí a stavová slova. Podrobněji bude popsán níže.

BCC potvrzuje správnost a celistvost telegramu. Podmiňuje jeho odeslání. [11]

V našem případě bude velmi důležitý blok PZD. Tato část může, ale nemusí mít konstantní délku. Část PZD je zobrazena na Obr. 2-10.



Obr. 2-10: TIA portál – složení PZD

Popis zkratek z obrázku:

STW je řídicí slovo

ZSW je stavové slovo

HSW je setpoint frekvence

HIW je skutečná hodnota rychlosti

Každá část PZD1, PZD2, ... je jedna 16bitová proměnná typu Word. Znamená to, že je primárně zobrazována v hexadecimálním formátu a maximální hodnota je 4000 Hex, což je 16384 Dec, tedy přesně polovina maximální hodnoty 16 bitů. Obr. 2 10 zobrazuje pouze 4 čtyři části., tuto Tyto část je ale možné zvětšit rozšířit až na 8 osm různých PZD. Každá část přitom obsahuje buď STW, popř. HSW v případě směru toku dat z PLC do měniče, nebo ZSW, popř. HIW v případě opačného toku dat. Platí přitom vždy, že PZD1 je vyhrazeno pro STW/ZSW, PZD2 pro HSW/HIW a PZD4 pro STW2. PZD3 a PZD5 až PZD8 je pak volné pro libovolné ZSW, čehož využijeme v následující podkapitole.

2.3.2.6 Nastavení vyčítaných hodnot z měniče

Měnič V20 umožňuje odesílání několika různých informací pomocí PZD části USS telegramu. Jejich kompletní seznam lze nalézt v manuálu měniče. V našem případě budeme chtít zobrazit následující veličiny.

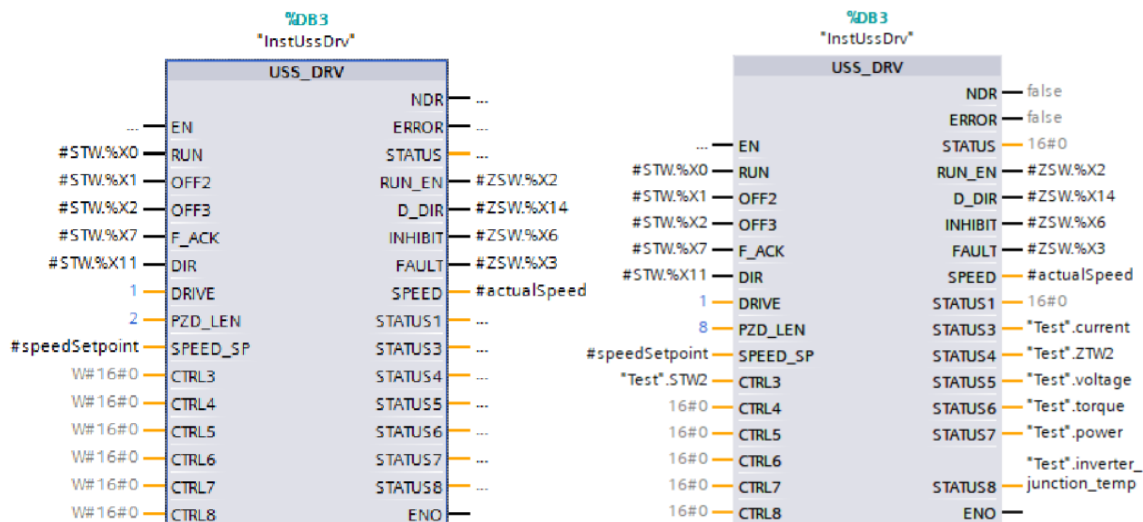
- Výstupní proud měniče [A]
- Výstupní fázové napětí měniče [V]
- Vypočítaný moment [Nm]
- Vypočítaný výkon [W]
- Vypočítaná teplota PN přechodu [°C]

K tomuto přenosu těchto hodnot je potřeba nastavit několik dalších parametrů pomocí externího BOP. Kompletní schéma tohoto nastavení je na straně 272 manuálu z použité literatury [2]. Pro tento konkrétní případ nastavíme:

Tab. 2-7: Nastavování měniče – vyčítané hodnoty

Parametr	Stará → nová hodnota	Název	Popis
P20 I9	-	CI: PZD to USS/MODBUS on RS485	Zobrazuje PZD přenášená pomocí USS po lince RS485
in002	0 → 27	Index 2	CO: Actual output current [A]
in004	0 → 25	Index 4	CO: Actual output voltage [V]
in005	0 → 31	Index 5	CO: Actual filtered torque [Nm]
in006	0 → 32	Index 6	CO: Actual filtered power
in007	0 → 37.1	Index 7	Teplota PN přechodu [°C]

S takto nastaveným měničem můžeme pro přenos těchto hodnot nakonfigurovat i PLC. To se provede několika úpravami bloku USS_DRV. Na Obr. 2-11 vlevo je tento blok zobrazený tak, jak je původně k nalezení v knihovně. Na obrázku vpravo je pak zobrazený už nakonfigurovaný pro naši aplikaci.



Obr. 2-11: Původní (vlevo) a upravený (vpravo) FB "USS_DRV"

První rozdíl, který je nutné brát v potaz je rozdílná délka PZD části telegramu. Na původním bloku je vstup PZD_LEN nastaven na 2. To znamená, že PZD část telegramu budou tvořit pouze dvě řídicí/stavová slova. V našem případě chceme vyčítat pět veličin. Dále je v telegramu pevně dán jednak setpoint/skutečná rychlost (HSW, HIW) na pozici PZD2, dále STW/ZTW na pozici PZD1 a také STW2 na pozici PZD3 jak je naznačeno

v Obr. 2-10. Celkem tedy osm PZD částí USS telegramu, což je maximální hodnota. V novém bloku je tedy hodnota PZD_LEN změněna na 8.

Dále jsou pak vyplněna políčka vedle výstupů STATUS1 až STATUS8. Zde se přebírají hodnoty veličin do proměnných programu a ukládají se do DB „Test“. Proměnné musí být přiřazeny ke správnému výstupu STATUS, tedy části PZD podle toho, jak byly nastaveny na měniči. Pro lepší názornost je přiřazení vyčítaných veličin do P2019 v měniči a do bloku „USS_DRV“ v programu PLC znázorněno pomocí Tab. 2-8.

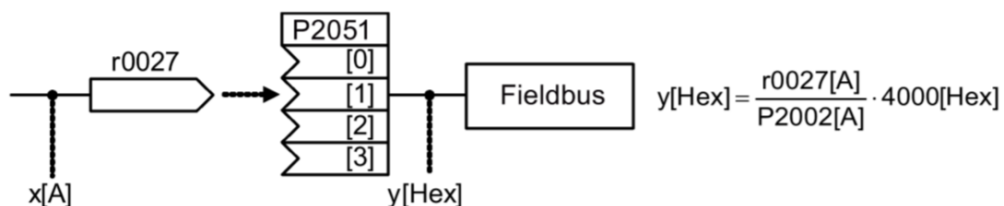
Tab. 2-8: TIA portál – seznam vyčítaných hodnot a jejich nastavení

STATUSx	Index P2019[x]	Zdrojový parametr	Veličina
3	in002	r0027 → 27	Výstupní proud [A]
5	in004	r0025 → 25	Výstupní fázové napětí [V]
6	in005	r0031 → 31	Vypočítaný moment [Nm]
7	in006	r0032 → 32	Vypočítaný výkon [W]
8	in007	r0037[1] → 37.1	Teplota PN přechodu [°C]

Tab. 2-8 ještě jednou vyjasňuje nastavení vyčítaných parametrů. Sloupec „STATUSx“ označuje, o jaké PZD se jedná a kde se tedy bude daná veličina přebírat v bloku „USS_DRV“. Sloupec „Index P2019[x]“ označuje do jakého indexu parametru 2019 je nutné na měniči nastavit příslušnou hodnotu. Sloupec „Zdrojový parametr“ pak označuje hodnotu parametru, kterou daným PZD přenášíme a za šipkou je naznačeno, jak bude zadaná do měniče do příslušného indexu parametru P2019. Sloupec „Veličina“ pak informuje jaké veličina odpovídá danému parametru, potažmo index parametru 2019, potažmo PZD v kolonce STATUSx.

2.3.2.7 Převod vyčítaných hodnot z měniče

Pokud bychom zobrazili vyčítané hodnoty nastavené dle minulých kapitol a porovnali je s hodnotami skutečnými pomocí BOP, zjistili bychom, že jsou zcela odlišné. Například vyčítaný výstupní proud by byl zobrazován v řádu desetitisíců ampérů, přitom skutečný proud v parametru r0027 zjištěný pomocí BOP by se pohyboval v řádech desetinách ampéru. Toto je způsobeno tím, že měnič všechny proměnné před odesláním normuje. Jako příklad poslouží výstupní proud.



Obr. 2-12: TIA portál – normování výstupního proudu [2]

Obr. 2-12 ukazuje, jak normování hodnoty parametru probíhá. Protože se parametr přenáší skrze řídicí slovo (control „Word“), nová hodnota musí mít také formát „Word“. Tato nová hodnota se vytvoří vydělením skutečné hodnoty proudu „r0027[A]“ parametrem „P2002[A]“. Tento parametr nastavuje referenční hodnotu proudu a slouží právě k tomuto účelu škálování hodnoty proudu. Pak se tato hodnota vynásobí maximální velikostí datového typu Word, tedy „4000[Hex]“.

Před tím, než začneme s touto hodnotou pracovat, je důležité nastavit referenční hodnoty parametrů, které vyčítáme. Teprve poté budeme mít všechny informace nutné k zpětnému dopočítání skutečných hodnot. Nastavování referenčních hodnot je opět nutné provést přímo na frekvenčním měniči pomocí BOP.

Tab. 2-9: Nastavování měniče – referenční hodnoty

Parametr	Stará → nová hodnota	Název	Popis
P2001	1000 → 230	Reference voltage [V]	Referenční napětí pro normování
P2002	0.10 → 0.88	Reference current [A]	Referenční proud pro normování
P2003	1.22 → 1.22	Reference torque [Nm]	Referenční moment pro normování
P2004	0.36 → 0.36	Reference power	Referenční výkon pro normování

Díky způsobu zpětného dopočítání hodnot není důležité tyto parametry nastavovat na konkrétní hodnoty. V Tab. 2-9 je tedy nastavené referenční napětí a proud na jmenovité hodnoty motoru. Díky tomu je možné snadno zkontrolovat správnost přenosu – při jmenovitých hodnotách bude dle vzorce na Obr. 2-12 přenášená hodnota rovna 4 000 Hex. Referenční moment a výkon byl ponechán na výchozích hodnotách. Teplotu PN přechodu měnič nenormuje, není nutné ji tedy přepočítávat.

Přepočítání těchto normovaných hodnot zpět na skutečné je velmi jednoduché. Ekvivalentními úpravami rovnice z Obr. 2-12 získáme zpět skutečnou hodnotu, tedy např. „r0027[A]“. Rovnice pro proud pak bude vypadat takto:

$$r0027[A] = \frac{y[\text{Hex}]}{4000[\text{Hex}]} P2002[A] \quad (7)$$

Funkce, která v programu zajišťuje tento převod je univerzální pro všechny přenášené veličiny. V programu byla nazvána „base conversion“. Před tím, než se provede samotná operace je nutné převést přebírané hodnoty z datového typu „Word“ do typu „Int“ (pomocí instrukce MOVE) a následně do typu „Real“ (pomocí bloku CONV). Tento převod s mezikrokem je nutný, protože „Word“ nelze v TIA portále na „Real“

převést přímo. Ovšem právě díky tomuto převodu není nutné řešit pořadí operací při přepočtu. Celou funkci je možné si prohlédnout v příloze A jako Obr. A-7.

2.3.2.8 Naprogramování vlastních bloků s příkladem

Program obsahuje několik dalších bloků, které jsou nutné pro správné fungování všech prvků v grafickém rozhraní. V této podkapitole budou všechny krátce popsány. Jeden z jednodušších bloků pak bude popsán jako příklad. Všechny tyto bloky jsou typu FC a všechny proměnné ukládají do DB „Test“.

- „setpoint_conversion_%-Hz“

Frekvenční měnič posílá informaci o rychlosti otáčení motoru, jako hodnotu v procentech, kde 100 % je maximální frekvence – v našem případě 50 Hz. Pro zobrazení rychlosti v Hz je nutné tuto předanou hodnotu přepočítat, což je úkolem této funkce. V programu se vyskytuje i funkce „setpoint_conversion_%-RPM“ která přepočítává rychlost do otáček za minutu a k ní inverzní funkce „setpoint_conversion_RPM-%“.

- „setpoint_reached“

Tato funkce přebírá žádanou rychlost a aktuální rychlost. Pokud se tyto rovnají, indikuje v parametru „setpoint_reached“ že bylo dosaženo žádané hodnoty. Toto porovnání je s rezervou 1 ot/min v případě, že by se hodnoty lišily pouze minimálně. Dále tato funkce indikuje brzdění motoru.

- „stw“

STW je zkratka pro řídicí slovo – více v podkapitole 2.3.2.5. Tato funkce indikuje stav jednotlivých bitů tohoto slova a ukládá je do DB.

- „power_conversion“

Zde je prováděn převod výkonu motoru z kW na W, tedy jednoduché násobení tisícem.

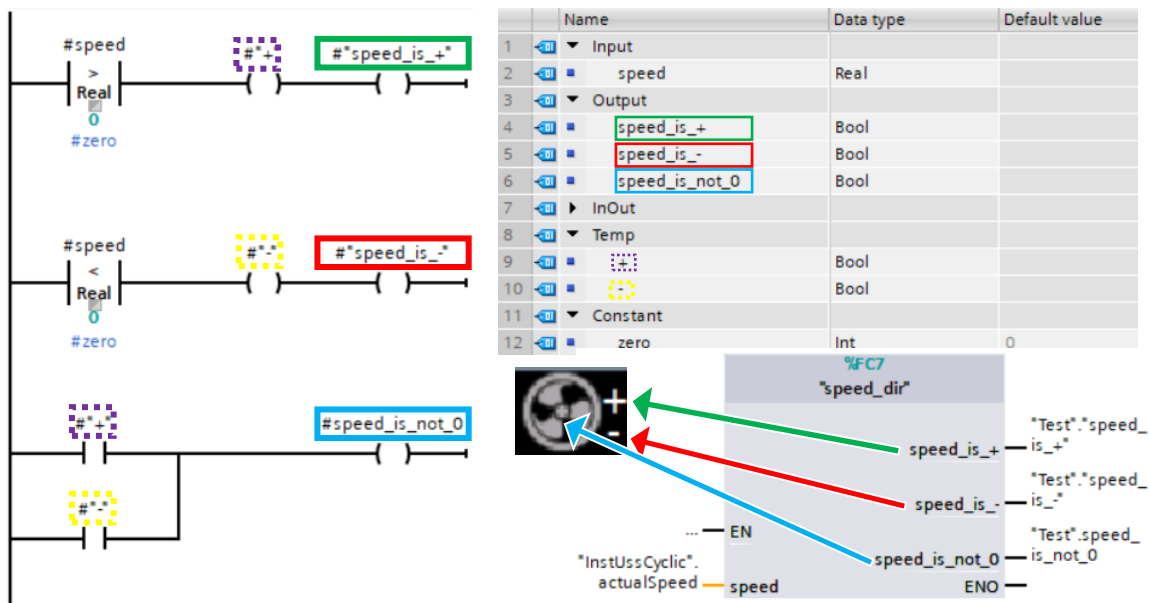
- „base_conversion“

Tato funkce má na starosti převod vyčítaných hodnot z měniče. Proč a jak je potřeba hodnoty převádět je vysvětleno v podkapitole 2.3.2.7.

- „speed_dir“

Jako jednoduchý příklad lze použít již zmíněný blok „speed_dir“. Tento blok vytváří signály pro indikaci otáčení motoru v grafickém rozhraní panelu – podrobně rozhraní popisuje kapitola 2.4. Na Obr. 2-13 je schéma fungování bloku. První popisovaná část bude tabulka v pravém horním rohu. V ní je uvedena jako vstupní hodnota proměnná „speed“, tedy otáčivá rychlost motoru s datovým typem „Real“. Jako

výstup jsou zde tři binární proměnné označující, zda se motor točí po směru hodinových ručiček (speed_is_+), proti směru (speed_is_-) či zda se vůbec otáčí (speed_is_not_0). Dále jsou zde dočasné vnitřní proměnné indikující směr otáčení a konstanta „zero“ rovná hodnotě nula. Liniové schéma je velmi jednoduché. Funkce přebírá rychlost a v prvním řádku ji porovná s konstantou nula. Pokud je hodnota větší, signál logické jedničky přes blok postupuje dále a nastaví tak hodnotu „speed_is_+“ do jedničky. Tímto se indikuje, že se motor otáčí po směru hodinových ručiček. Zároveň se nastaví do jedničky dočasná proměnná „+“ která nastaví hodnotu speed_is_not_0“ také do jedničky. Tímto je indikováno, že je motor v pohybu. Pro indikaci otáčení proti směru hodinových ručiček je použitý ekvivalentní postup. Obrázek dále obsahuje malý náhled ikon z grafického rozhraní, které tyto jednotlivé stavy indikují. Blok pojmenovaný „%FC7“ v pravém dolním rohu obrázku je výsledná funkce, vložená do OB „Main“. Ke každému vstupu a výstupu je zde přiřazena odpovídající proměnná, např. vstup je zde „actualSpeed“, což je skutečná rychlost motoru přebíraná z frekvenčního měniče. Výstupní proměnné přiřazené k funkci jsou v tomto případě pojmenované stejně, jako popisky jednotlivých výstupů samotné funkce. Dle syntaxe jazyku je před tímto popiskem ještě připsáno „Test“, což označuje, že proměnná je součástí DB „Test“.



Obr. 2-13: TIA portál – funkce „speed_dir“

Bylo by samozřejmě možné přebírat skutečnou hodnotu rychlosti a předávat jednotlivé stavy otáčení přímo ve funkci. V takovém případě by blok %FC7 neměl žádný vstup, ani výstup. Způsob použitý zde má ale jistou výhodu v tom, že při monitorování jednotlivých parametrů při ladění programu není nutné přepínat na funkci samostatně, ale stačí je sledovat právě v bloku Main společně se všemi ostatními funkcemi.

2.4 Konfigurace panelu Siemens SIMATIC HMI KTP700 Basic

Panel Siemens SIMATIC HMI je základní panel z řady Basic. Přesto jde o velmi komplexní a všestranně použitelné zařízení. V našem případě má panel barevného displeje uhlopříčku 7 palců. Panel je dotykový, k ovládní je ale možné také použít osm hardwarových tlačítek umístěných pod displejem. Dotyková vrstva funguje na kapacitním principu, displej tedy není možné ovládat v rukavicích, pokud k tomu nejsou přímo určeny.

Zapojení panelu je vysvětleno v podkapitole 2.3.1. Zařazení panelu do programu a založení komunikace s PLC bylo náplní kapitoly 2.3.2.1. V této podkapitole bude popsáno vytváření grafického rozhraní, s jehož pomocí budeme ovládat a sledovat dříve nakonfigurované parametry a veličiny. Stejně jako u programu PLC je vhodné pravidelně rozhraní nahrát do panelu. Program se zkompiluje a varuje před případnými chybami. V tomto případě je velmi užitečné použít simulační program. Není tak potřeba mít panel fyzicky zapojený a při zapojení všech ostatních komponent je možné z tohoto softwarového panelu ovládat měnič stejným způsobem.

Při prvním spuštění panelu je možné, že bude potřeba aktualizovat firmware panelu. Poté se na panelu objeví jeho základní menu. Zde je možné spustit nahrané grafické rozhraní, je zde i kolonka nastavení. V továrním nastavení je panel nastaven tak, že při každém dotyku vydá potvrzující tón. To nemusí být vhodné do každého prostředí, v našem případě byla tedy tato funkce zakázána.

2.4.1 Struktura grafického rozhraní

TIA portál nabízí hned po přidání jakéhokoliv panelu spuštění jednoduchého průvodce vytvářením grafického rozhraní. Je zde možné rozvrhnout strukturu jednotlivých obrazovek, přidat běžné ovládací prvky, jako např. roletu pro přechod mezi obrazovkami, lze přidat funkce jednotlivým tlačítkům ať už softwarovým, nebo i hardwarovým a spoustu dalších funkcí. V našem případě nebyl žádný takový průvodce použitý, pro většinu případů by však měl posloužit pro dobré základní rozvržení rozhraní.

Před vytvářením rozhraní je nutné znát systém vrstev používaný v TIA portále. Jsou zde celkem čtyři typy obrazovek, každá s jinou prioritou zobrazení. Zde jsou seřazeny podle priority zobrazení sestupně.

- „System screen“

Obrazovka s nejvyšší prioritou. Tuto obrazovku není možné měnit. Slouží např. k zobrazování zadávacích polí.

- „Global screen“

Tuto obrazovku lze modifikovat jen velmi málo. Lze zde umístit indikaci oznámení o aktivní chybě. Pozici a velikost těchto objektů lze měnit, jejich funkčnost ne. Zde se dají také konfigurovat hardwarová tlačítka panelu, pokud jimi disponuje. V rámci této a všech ostatních typů obrazovek lze využívat až 31 dalších vrstev.

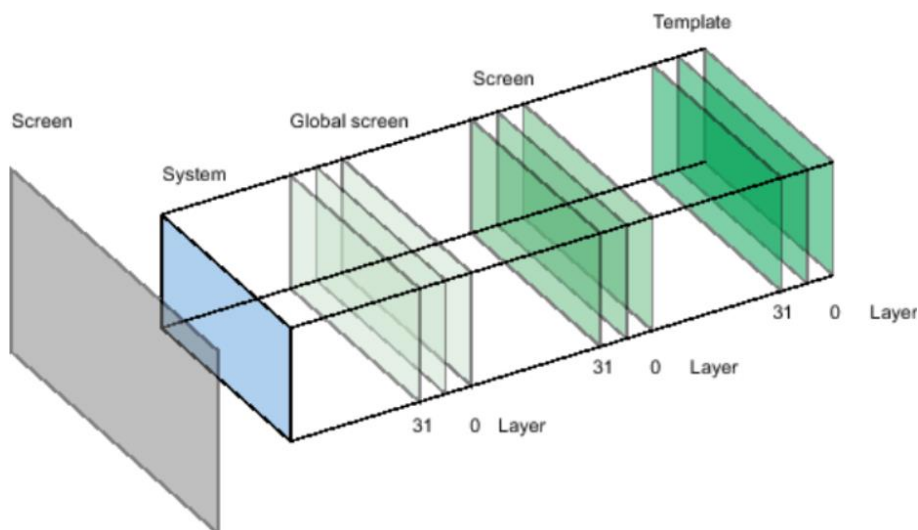
- „Screen“

Hlavní náplň grafického rozhraní. Lze sem zobrazovat mnoho různých objektů, většina z nich bude popsána v podkapitole 2.4.4.

- „Template“

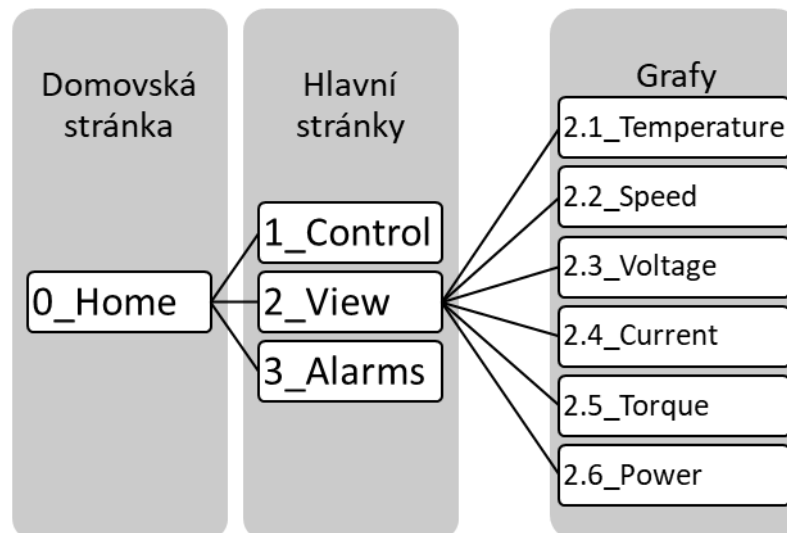
Tato obrazovka zůstává vždy v pozadí. Je velmi užitečná např. pro tlačítka, která se objevují na více obrazovkách. Pomocí obrazovky „Template“ (šablona) není nutné tlačítka kopírovat do každé další obrazovky, ale pouze jí přiřadit jednu vytvořenou šablonu.

Obr. 2-14 znázorňuje hierarchii obrazovek graficky.



Obr. 2-14: Viditelnost obrazovek HMI panelu [9]

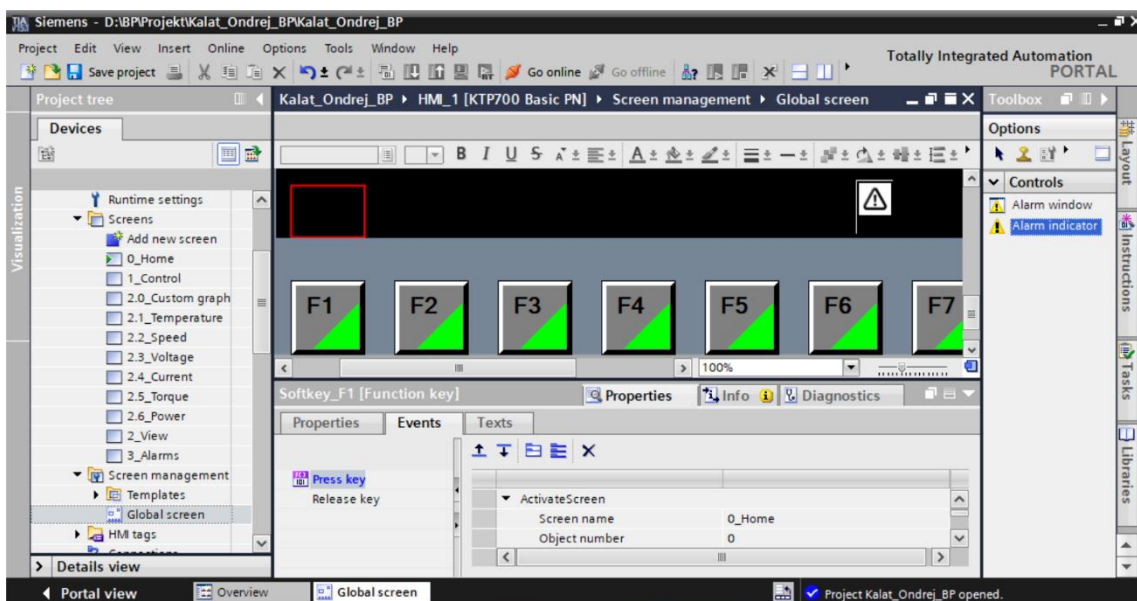
Náš program bude ovládat měnič s asynchronním motorem a bude z něj možné vyčítat veličiny pro tento účel připravené v podkapitole 2.3.2.6. Proto nám budou stačit dvě obrazovky. Dále je dobré, aby program obsahoval samostatnou obrazovku pro zobrazení jednak aktivních alarmů a dále záznam všech alarmů co nastaly (tzv. alarm buffer). To jsou celkem čtyři samostatné obrazovky, ke kterým se přidá ještě šest dalších. Ty budou obsahovat grafy průběhu všech vyčítaných hodnot. Schéma výsledné struktury obrazovek je na Obr. 2-15.



Obr. 2-15: Grafické rozhraní – struktura obrazovek

2.4.2 Nastavení obrazovky „Global screen“

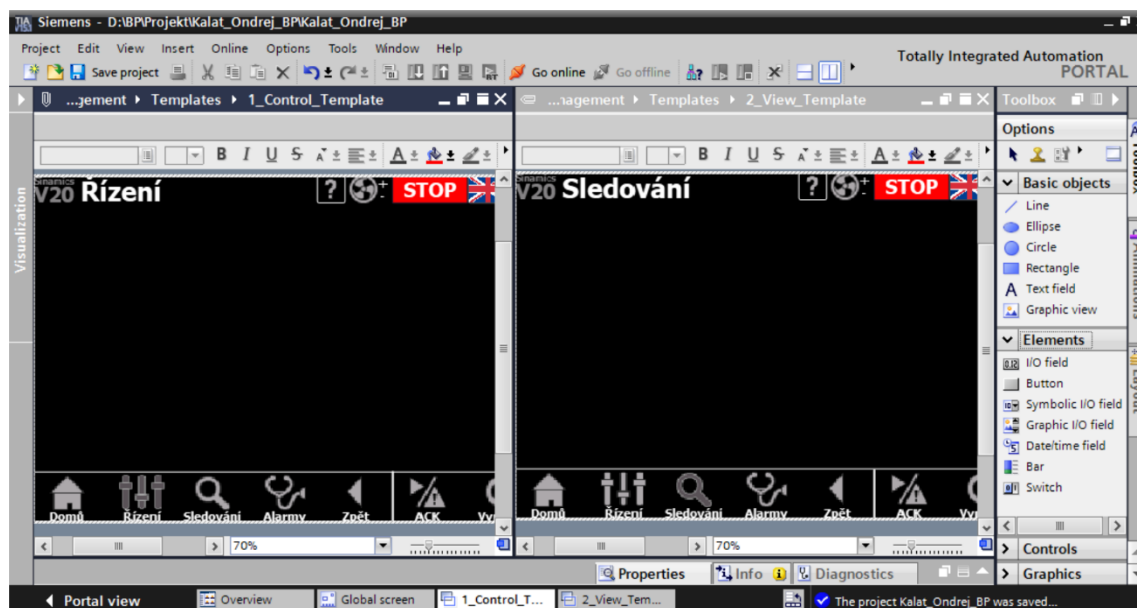
Jak již bylo řečeno, na této obrazovce není mnoho možností, jak ji modifikovat. Jako první bylo zde změněno pozadí všech ostatních obrazovek na černou. Dále zde byl přidán indikátor alarmů – na Obr. 2-16 je v pravé dolní části obrazovky, na tuto pozici byl ale přemístěn, aby se vešel do obrázku. Jeho umístění v programu je v pravém horním rohu a zobrazí se pouze tehdy, pokud je nějaký alarm aktivní. V pravé části nazvané „Toolbox“ jsou zobrazeny všechny objekty, které je možné do obrazovky přidat – tedy včetně tohoto indikátoru. Dále je zde ukázáno, jak se mění funkce hardwarových tlačítek. Po stisknutí tlačítka se zobrazí spodní lišta možností. V kartě „Events“ je možné nastavit akci při stisknutí „Press key“, nebo uvolnění „Release key“ tohoto tlačítka. Zde je nastavený přechod na obrazovku domovskou obrazovku „0_Home“.



Obr. 2-16: TIA portál – obrazovka „Global screen“

2.4.3 Nastavení obrazovek „Template“

Program obsahuje celkem čtyři šablony. Jsou si navzájem velmi podobné, liší se pouze v detailech. Na Obr. 2 17 jsou zobrazeny dvě – šablona pro obrazovku Řízení a pro obrazovky Sledování. Rozdíly jsou pouze v popisu v horní liště a zvýraznění aktuální obrazovky v dolní liště. Tento obrázek zároveň zobrazuje možnost úpravy dvou oken najednou. V pravé části „Toolbox“ je opět vidět několik různých objektů, které lze na tuto obrazovku přidat. Další obrazovky budou až na výjimky zobrazovány s rozhraním v českém jazyce. Program nicméně nabízí možnost přepnout na anglický jazyk. V angličtině byl také primárně programován. Funkci přepínání jazyků je věnována též část textu v této podkapitole.



Obr. 2-17: TIA portál – obrazovka „Template“

Horní a dolní lišta se s drobnými úpravami objevuje napříč celého grafického rozhraní. Zde budou popsány.

Dolní lišta slouží k navigaci mezi jednotlivými obrazovkami. Dále je zde několik možností, které je vhodné mít stále na dosah. Funkce všech těchto tlačítek zrcadlí funkce mechanických tlačítek na odpovídající pozici. Přizpůsobení funkcí mechanických tlačítek je popsáno v podkapitole 2.4.2.

- Domů

Jak již bylo popsáno v předchozí podkapitole, toto tlačítko slouží k přechodu na domovskou obrazovku.

- Řízení

Tlačítko slouží k přechodu na obrazovku Řízení.

- Sledování

Tlačítko slouží k přechodu na obrazovku Sledování.

- Alarmy

Tlačítko slouží k přechodu na obrazovku Alarmy.

- Zpět

Tlačítko slouží k přechodu na předchozí obrazovku.

- ACK

Tlačítko kvituje všechny aktivní chyby měniče. Tlačítko je nastavené tak, že při stisknutí se nastaví bit 7 STW do jedničky. Tento bit nazvaný „Fault acknowledge“ vyšle do měniče signál ke kvitaci indikovaných chyb. Zároveň se hned po uvolnění tento bit nastaví opět do nuly, aby byl připraven pro další nulování.

- Vypnout

Vypne aktivní grafické rozhraní a zobrazí menu samotného panelu.

- STOP

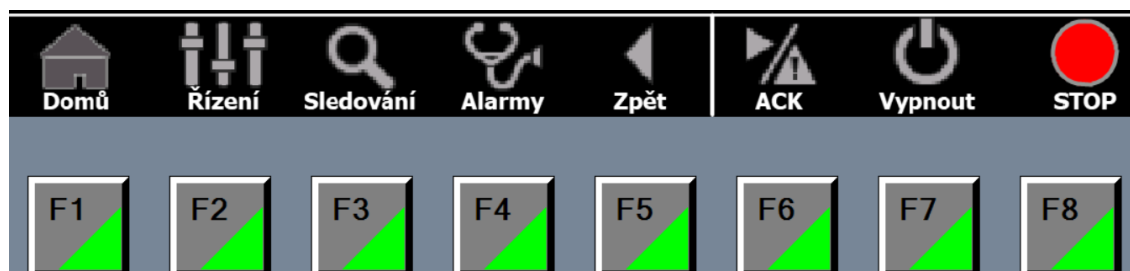
Aktivuje rychlé brzdění. Tlačítko je nastavené tak, aby při stisku převrátilo logickou hodnotu bitu 2 STW. Tento bit nazvaný „OFF3: Fast stop“ vyšle do měniče signál k rychlému brzdění. Motor doběhne na nulové otáčky a měnič se vypne. Rozběh pak nebude možný, dokud nebude tlačítko STOP stisknuto znovu. Toto je indikováno bílým nápisem na červeném poli v horní liště (viz. níže).

Z továrního nastavení je rychlost rampy OFF3 nastavena na 5 s. Motor se tedy zastaví po relativně dlouhé době vzhledem k nízkému výkonu motoru a tomu, že nemáme k motoru připojenou žádnou zátěž. Naposledy je tedy nutné změnit parametr přímo na měřiči skrze BOP.

Tab. 2-10: Nastavování měniče – rampa OFF3

Parametr	Stará → nová hodnota	Název	Popis
P1135	5 → 0.5	OFF3 ramp-down time [s]	Určuje rampu pro rychlé brzdění

Rampa byla nastavena na 0,5 s, čehož lze u motoru s takto malou zátěží bez problémů dosáhnout. Na Obr. 2-18 je celá spodní lišta i s hardwarovými tlačítky. Tento obrázek je konkrétně z šablony pro obrazovku „0_Home“.



Obr. 2-18: Grafické rozhraní – spodní lišta

Stejným způsobem bude popsána horní lišta, která slouží k nastavení rozhraní a indikaci různých stavů měniče.

- Název obrazovky
- Tlačítko nápovědy

Na všech základních obrazovkách (tedy ne na obrazovkách s grafy) je k dispozici nápověda. Zde slouží mimo jiné i jako komentář k funkčnosti jednotlivých bloků. Po stisknutí je invertován bit v proměnné např. „Help_0_Home“. Pokud je takto invertován do logické jedničky, zobrazí se všechny k tomu nastavené objekty. Situaci ukazují obrázky v příloze A, Obr. A-9 a Obr. A-10. Drobným detailem viditelným na těchto obrázcích je, že při spuštění nápovědy na této obrazovce se zobrazí i indikátory směru otáčení a zabrzdění motoru pomocí OFF3. Jsou ohraničeny přerušovanou čarou, což signalizuje že jsou zobrazeny pouze pro účely nápovědy a ve skutečnosti se motor netočí. Při spuštění motoru (popsáno v podkapitole 2.4.4.2) se tato nápověda automaticky vypne, aby uživatele nemátla.

- Indikace běhu a směru otáčení

Tato část grafického rozhraní byla popsána i s funkcí která tuto indikaci umožňuje v podkapitole 2.3.2.8.

- Indikace zapnuté brzdy OFF3

Indikuje stisknutí tlačítka STOP.

- Přepínač jazyku grafického rozhraní

Jak již bylo řečeno, grafické rozhraní bylo navrhováno v anglickém jazyce a následně přeloženo do jazyka českého. Přepínač zobrazuje vlajku dle aktuálně nastaveného jazyku. Na přepnutí jazyka slouží funkce po kliknutí (podobně jako funkce pro přechod na obrazovku 0_Home z Obr. 2-16), zároveň je ale tato hodnota ukládána do proměnné „language_tag“. Takto si PLC zapamatuje hodnotu tohoto tagu a vždy po spuštění zobrazí naposledy použitý jazyk. Situaci ukazují obrázky v příloze A, Obr. A-8 a Obr. A-9.

- Datum a čas

Obr. 2-19 zobrazuje horní lištu z šablony pro obrazovku „1_Control“. Je důležité upozornit, že tento obrázek je pořízen přímo z prostředí pro úpravu rozhraní v českém jazyce, ne ze simulátoru panelu. Všechny proměnné jsou tedy nastavené na své výchozí hodnoty. To je důvod, proč je zde viditelná indikace směru otáčení motoru na obě strany a proč indikátor zvoleného jazyka ukazuje jako nastavený jazyk angličtinu, i když je text česky. Obrázky v příloze A pod čísly Obr. A-8, Obr. A-9 a Obr. A-10 zobrazují obrazovku ze simulátoru, tedy tak jak vypadá i na skutečném panelu.



Obr. 2-19: Grafické rozhraní – horní lišta

2.4.4 Nastavení obrazovek „Screen“

Tyto obrazovky tvoří hlavní náplň programu. Zobrazují se zde vyčítaná data a lze odtud ovládat měnič. Zde bude každá obrazovka stručně popsána.

2.4.4.1 Domovská obrazovka

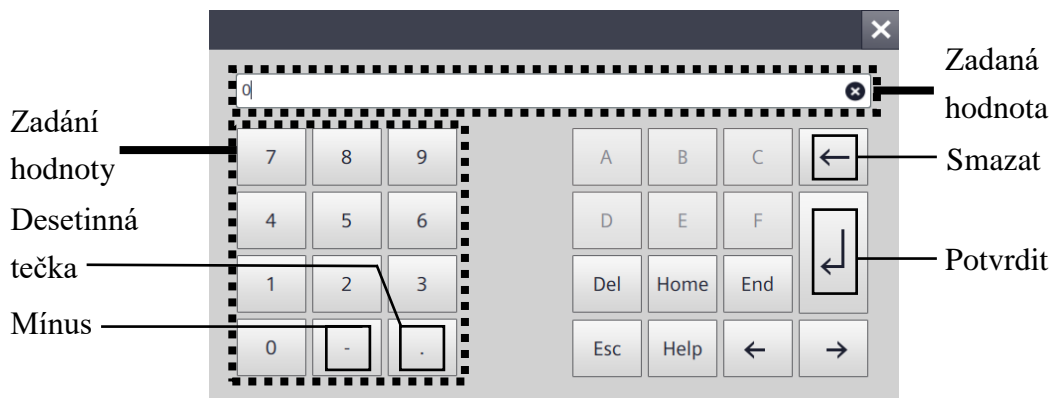
V programu je označená „0_Home“. Domovská obrazovka slouží ke krátkému představení programu. Odtud nelze ovládat měnič, ani vyčítat žádné parametry. Zároveň je i zde krátký souhrn použitého hardwaru. Tuto obrazovku ukazují obrázky v příloze A pod čísly Obr. A-8, Obr. A-9 a Obr. A-10.

2.4.4.2 Obrazovka „Řízení“

V programu je označená „1_Control“. Tato obrazovka slouží k především k řízení měniče. Lze zde ale i monitorovat vyčítané parametry a indukují se zde také základní stavy měniče. Nyní zde budou vypsány všechny prvky na obrazovce společně s popisem jejich funkce a stručným popsáním jejich nastavení. Obrázek obrazovky je možné najít v příloze B, Obr. A-11.

- „Setpoint [RPM]“ – zadávací pole

Vstupní pole pro zadání žádané rychlosti. Je zde poznámka, že jmenovitá rychlost je ± 2820 ot/min. Při zadání vyšší hodnoty se motor rozběhne právě na 2820 ot/min. Po kliknutí na pole se zobrazí výchozí zadávací pole panelu. Protože je toto pole univerzální pro všechna různá zadávací pole, je zde několik tlačítek, které není potřeba využívat a při stisknutí se nic nestane. Obr. 2-20 ukazuje toto zadávací pole a jsou zde i popisky tlačítek, které lze při zadávání využít.



Obr. 2-20: Grafické rozhraní – výchozí zadávací pole

- „SPUSTIT“ – přepínač

Přepínač prostřednictvím HMI tagu „RUN_from_HMI“ invertuje bit 0 STW. Tento bit nazvaný „ON/OFF1“ vyšle do měniče signál ke spuštění/zabrzdnění motoru. Zároveň při přepnutí spínače z OFF na ON se resetuje tag „Help_0_Home“ aby indikátory směru otáčení a zabrzdnění motoru spuštěné při nápovědě nemátly obsluhu. Tomu se věnovala část „Tlačítka nápovědy“ v podkapitole. V pozici OFF (přepínač je červený) se motor nerozběhne.

- „Doběh“ – přepínač

Přepínač invertuje bit 1 STW. Tento bit nazvaný „OFF2: Electrical stop“ vyšle do měniče signál k zabrzdnění motoru doběhem. V pozici ON (přepínač je červený) je brzdění zapnuto – pokud motor běží, začne dobíhat a následně nepůjde spustit, dokud nebude tento přepínač opět vypnut. Stejně tak funguje i přepínač pro OFF3 popisovaný v části „STOP“ podkapitoly 2.4.3.

- „Setpoint dosažen“ – indikátor

Softwarová kontrolka se rozsvítí zeleně, pokud je dosaženo setpointu. Funkce popisující způsob naprogramování této indikace se jmenuje „setpoint_reached“. Podrobnější popis je ve stejnojmenné části podkapitoly 2.3.2.8.

- „Brzdění“ – indikátor

Softwarová kontrolka se rozsvítí žlutě, pokud motor brzdí. Podrobněji popsána je společně s předchozí kontrolkou.

- „Parametry:“ – výstupní pole

Společně s popisky jsou v bílých polích zobrazovány aktuální hodnoty vyčítaných parametrů. Jak a které hodnoty jsou vyčítány je popsáno v podkapitole 2.3.2.6.

- „Rychlost [RPM]“ – zobrazovací panel

Pro snadné a rychlé zjištění aktuální rychlosti, nastavené rychlosti a rozdílu mezi nimi je v pravé části obrazovky zobrazovací panel. Ve skutečnosti jde o dva panely těsně vedle sebe – každý pro jednu veličinu.

2.4.4.3 Obrazovka „Sledování“

V programu je označená „1_View“. Slouží k prohlížení aktuálních i minulých hodnot jednotlivých veličin. Bude zde popsána stejně jako předchozí obrazovka. Obrázek obrazovky je možné najít v příloze B, Obr. A-12.

- Parametry

Jde o stejná zobrazovací pole, jako v předchozí podkapitole.

- Grafy

V pravé části obrazovky je šest obdélníkových polí. Ta obsahují název veličiny, její aktuální hodnotu a malý graf pro rychlé zhodnocení průběhu těchto veličin. Jak a které hodnoty jsou vyčítány je popsáno v podkapitole 2.3.2.6. Každé toto pole je zároveň tlačítko, které slouží k přechodu na obrazovku s grafem příslušné veličiny. To bude popsáno v následující podkapitole.

2.4.4.4 Obrazovky s grafy

V programu jsou označené „2.1_Temperature“, „2.2_Speed“, „2.3_Voltage“, „2.4_Current“, „2.5_Torque“ a „2.6_Power“. Všechny tyto obrazovky jsou velmi podobné a liší se pouze nadpisem, veličinou zobrazovanou v grafu, popř. i různým rozsahem osy y. Obrázek obrazovky je možné najít v příloze B, Obr. A-14.

- Graf

Graf je co možná největší. Osa x , tedy čas [s] je v každém grafu ve výchozím nastavení maximálně 100 s. To je určeno tím, že je možné v paměti panelu udržet pouze 1000 hodnot. Při vzorkování jednou za 0,1 s, tedy nejmenší možný interval, nám pak vychází právě 100 s záznamu. Tento graf tak určitě neslouží ke studování např. přechodových jevů, nebo dlouhodobých statistik. Jde pouze o rychlé zhodnocení současného a relativně nedávného stavu. Pod grafem je šest tlačítek pro zastavení, přechod na začátek, posun doprava, nebo leva, přiblížení a oddálení grafu.

- Lišta pro přepínání grafů

Jde o vstupní pole, pomocí kterého lze přímo z obrazovky jednoho grafu přepnout na jiný.

2.4.4.5 Obrazovka „Alarmy“

V programu je označena „3_Alarms“. Zde je tabulka s aktivními a všemi ostatními alarmy. Obrázek obrazovky je možné najít v příloze B, Obr. A-13.

- Tabulka s aktivními alarmy

Tabulka zobrazuje všechny alarmy, které aktuálně hlásí měnič, nebo PLC. Označuje jejich číslo, čas kdy se daný alarm vyvolal (dle času PLC) a popis samotného alarmu. Tabulka obsahuje v pravém dolním rohu tlačítko, které po stisknutí podrobněji rozepíše označený problém (pokud je jeho popis k dispozici).

- Tabulka se všemi alarmy

Tabulka zobrazuje všechny alarmy. Jde tedy v podstatě o historii alarmů. Stejně jako předchozí tabulka obsahuje číslo, datum a popis, i tlačítko pro více informací o tomto alarmu.

- Přepínač

Slouží k přepínání mezi výše zmíněnými tabulkami.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo nejdříve popsat U/f řízení asynchronního motoru. Tato metoda řízení rychlosti pomocí změny napájecího kmitočtu byla popsána teoreticky pomocí známých vztahů. Kompenzace úbytku na odporu R_1 byla nejdříve popsána teoreticky a následně bylo ověřeno na skutečném měniči, jak je tato kompenzace reálně aplikována.

Naměřené hodnoty vynesené do grafu $U_1 = f(f_1)$ se podobaly teoretickému rozboru, bylo zde ale několik rozdílů. Podle předpokladu by se poměr U_1/f_1 měl výrazně měnit v oblastech nízkých frekvencí právě kvůli kompenzaci úbytku na R_1 , a dále byl očekáván jeho průběh konstantní až do jmenovité frekvence f_N . Skutečné hodnoty ukázaly, že tento poměr nezůstává konstantní. Rozdíl mezi sousedními hodnotami se neustále zmenšuje, nikdy však není zcela nulový. Toto je pravděpodobně způsobeno teplotou odporu R_1 , která se mohla během měření měnit jeho velikost a ovlivňovat tuto kompenzaci. Pokles poměru U_1/f_1 je však velmi strmý a vzhledem k relativně velmi vysokým hodnotám tohoto poměru v oblasti nejnižších frekvencích se dá považovat jako konstantní už při $f \approx 0,8$ Hz.

Dále bylo v práci podrobně popsáno, jak nakonfigurovat měnič Siemens SINAMICS V20 pro komunikaci s PLC Siemens SIMATIC S7-1200 pomocí USS protokolu. Frekvenční měnič musel být připraven na tuto komunikaci konfigurací několika parametrů přímo ze svého panelu. Bylo tedy nutné podrobně prostudovat manuál k tomuto měniči a seznámit se s ovládáním tohoto panelu. Pro PLC byl napsán program v grafickém programovacím jazyku LAD, který zajišťuje výměnu informací mezi PLC, měničem a dále panelem Siemens SIMATIC HMI KTP700 Basic. K ovládání měniče byl využit právě tento panel. Bylo tedy nutné pro něj vytvořit grafické rozhraní, které umožňuje rozběh, brzdění a řízení rychlosti asynchronního motoru, dále sledování vybraných parametrů, a to nejen současných hodnot, ale i jejich záznam v grafu. Dále je rozhraní připraveno na zobrazení alarmů pro základní diagnostiku pohonu. Jeho funkčnost byla úspěšně ověřena.

Literatura

- [1] KOBRLÉ, Pavel a Jiří PAVELKA. Elektrické pohony a jejich řízení. Praha: ČVUT, 2016. ISBN 978-80-01-06007-0.
- [2] SINAMICS V20 Operating Instructions: A5E34559884-010 [online]. SIEMENS AG DIVISION DIGITAL FACTORY. 90026 NÜRNBERG GERMANY, 2018 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109760756/V20_op_instr_0618_en-US.pdf?download=true
- [3] SINAMICS V: Speed Control of a V20 with S7-1200 (TIA Portal) via USS® Protocol, with HMI: 63696870, V1.2 [online]. In: SIEMENS AG. 2014 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/63696870/63696870_v20_at_s7-1200_uss_v1d2_en.pdf
- [4] SINAMICS V: Simple Speed Control of a V20 with S7-1200/1500 Using the USS® Protocol: 109480894, V1.0 [online]. SIEMENS AG. 2015 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109480894/109480894_V20USS_at_S712001500_DOC_V1d0_TIAV13SP1_en.pdf
- [5] VOŽENÍLEK, Petr, Vladimír NOVOTNÝ a Pavel MINDL. Elektromechanické měniče. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04875-7.
- [6] STEP 7 Basic V13.1 [online]. SIEMENS AG. 2014, 3707 - 3717 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109054417/STEP_7_Basic_V13_1_enUS_en-US.pdf?download=true
- [7] Rychlé uvedení do provozu Sinamics V20: verze 12/2015 CZ [online]. SIEMENS AG. 2015 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/technika_pohonu/menice/stridave_menice/nizkonapetove_menice/sinamics-v20/rychle-uvedeni-do-provozu_sinamics-v20_2015_cz.pdf
- [8] Uvedení do provozu Sinamics V20: A5E34560220-003 [online]. SIEMENS AG. 2015 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/technika_pohonu/menice/stridave_menice/nizkonapetove_menice/sinamics-v20/uvedeni-do-provozu_sinamics-v20_2015-07_cz.pdf

- [9] SIEMENS AG. Totally Integrated Automation Portal. V15.1. Software. Nápověda v programu.
- [10] SIEMENS, S.R.O. SINAMICS V20. Praha, 2017, 16 s. Přeloženo z originálu E20001-A90-P670-V9-2D00.
- [11] MÖLLER-NEHRING, Walter a Wolfgang BOHRER. Universal Serial Interface Protocol USS[®] Protocol: Specification [online]. SIEMENS AG. Germany, 1994 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/253/24178253/att_101238/v1/uss_24178253_spec_76.pdf
- [12] Products for Totally Integrated Automation: Catalog ST 70 [online]. SIEMENS AG. Germany, 2017 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z:
<https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109744167/simatic-st70-complete-english-2017.pdf?download=true>

Seznam příloh

A	Obrázková příloha	49
B	Měření kompenzace R_1 při U/f.....	57
C	Obsah přiloženého CD.....	59

Seznam tabulek

Tab. A-1:	Seznam veškerých změněných parametrů na měniči pomocí BOP.....	54
Tab. B-1:	Doplnění Tab. 1-1 (vlevo) a přepočítané hodnoty vztažené k jmenovitým (vpravo).....	57

Seznam obrázků

Obr. A-1:	Štítek asynchronního motoru SIMOTICS	49
Obr. A-2:	Štítek FM SINAMICS V20 (vlevo) a rozhraní pro BOP (vpravo).....	49
Obr. A-3:	Štítek panelu BOP.....	49
Obr. A-4:	Štítek panelu SIMATIC HMI KTP700 Basic.....	50
Obr. A-5:	Štítky PLC SIMATIC S7-1200 (vlevo), zdroje SIMATIC PM 1207 (uprostřed), kom. modulu CM 1241 (vpravo).....	50
Obr. A-6:	Pracoviště s veškerým zapojeným hardwarem, rozmístění dle Obr. 2-6.....	51
Obr. A-7:	TIA portál – funkce „base conversion“	51
Obr. A-8:	Grafické rozhraní – domovská obrazovka v anglickém jazyce	52
Obr. A-9:	Grafické rozhraní – domovská obrazovka v českém jazyce.....	52
Obr. A-10:	Grafické rozhraní – domovská obrazovka v českém jazyce s nápovědou....	52
Obr. A-11:	Grafické rozhraní – obrazovka Řízení	53
Obr. A-12:	Grafické rozhraní – obrazovka Sledování	53
Obr. A-13:	Grafické rozhraní – obrazovka Alarmy	53
Obr. A-14:	Grafické rozhraní – Obrazovka s průběhem rychlosti a setpointu	54
Obr. B-1:	Graf změřené závislosti $U_1/U_{1N} = f(f_1/f_{1N})$	58
Obr. B-2:	Graf změřené závislosti $U_1 = f(f_1)$	58
Obr. B-3:	Přiblížená část grafu z obrázku B-2	58

A Obrázková příloha

SIEMENS 3~ Mot 1A7060-2AA10 (H) CE
 Made in Czech Republic UD 1305/1534655-001-003
 IP 55 63M IM B3 EC/EN 60034 ThCl55(F) -20 °C < TAMB <= 40 °C
 50 Hz 230/400 V Δ/Y 60 Hz 460 V Y
 0,18 kW 0,88/0,51 A 0,21 kW 0,50 A
 cos φ 0,82 2820/min cos φ 0,81 3410/min
 220-240/380-420 V Δ/Y 440-480 V Y
 0,90-0,92/0,52-0,53 A 0,51-0,52 A
 32141 0004

Obr. A-1: Štítek asynchronního motoru SIMOTICS

SIEMENS

Sinamics V20

INPUT: 1Φ AC200-240V +/-10% 4.5A 47-63Hz	cULus IND. CONT. EQ. 4TR2 LISTED
OUTPUT: 0-input V 1.7A 0-599Hz	

MOTOR: 0.33HP

INPUT: 1Φ AC200-240V +/-10% 4.5A 47-63Hz
 MOTOR: 0.25kW IP20 Filtered Class A

1P 6SL3210-5BB12-5AV0
 S ZVD2YET000193
 SNC-A5E03262748
 version: 02

Siemens Numerical Control Ltd. NanJing 211100

Made in China

SIEMENS
 SINAMICS V20 BOP Interface

1P 6SL3 255-0VA00-2AA0
 S ZVD1YH4001263
 SNC-A5E03585254
 VERSION: 01

cULus
LISTED
IND. CONT. EQ. 5B33
SINAMICS Listed Accessory

Made in China

Made in China

Obr. A-2: Štítek FM SINAMICS V20 (vlevo) a rozhraní pro BOP (vpravo)

SIEMENS CE

SINAMICS V20 Operator Panel

UL TYPE 1 Enclosure	cULus IND. CONT. EQ. 5B33 LISTED SINAMICS Listed Accessory
Protection: IP54	

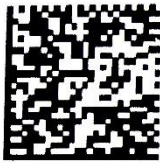
1P 6SL3 255-0VA00-4BA0
 S ZVCDYED000540
 SNC-A5E03585320
 VERSION: 01

Made in China

Obr. A-3: Štítek panelu BOP

SIEMENS

KTP700 Basic



1P
S
23S
(MAC)

6AV2 123-2GB03-0AX0
V-K5AE0668
E0-DC-A0-3D-76-31

Ta: 0°C...+50°C vertical
F-State: 09



KCC-REM-S49-KPKTP



LISTED 74D7
IND.CONT.EQ.

Front face only: Type 4X/12
Indoor use only, Watertight
Input DC 24V / 0,44A max.

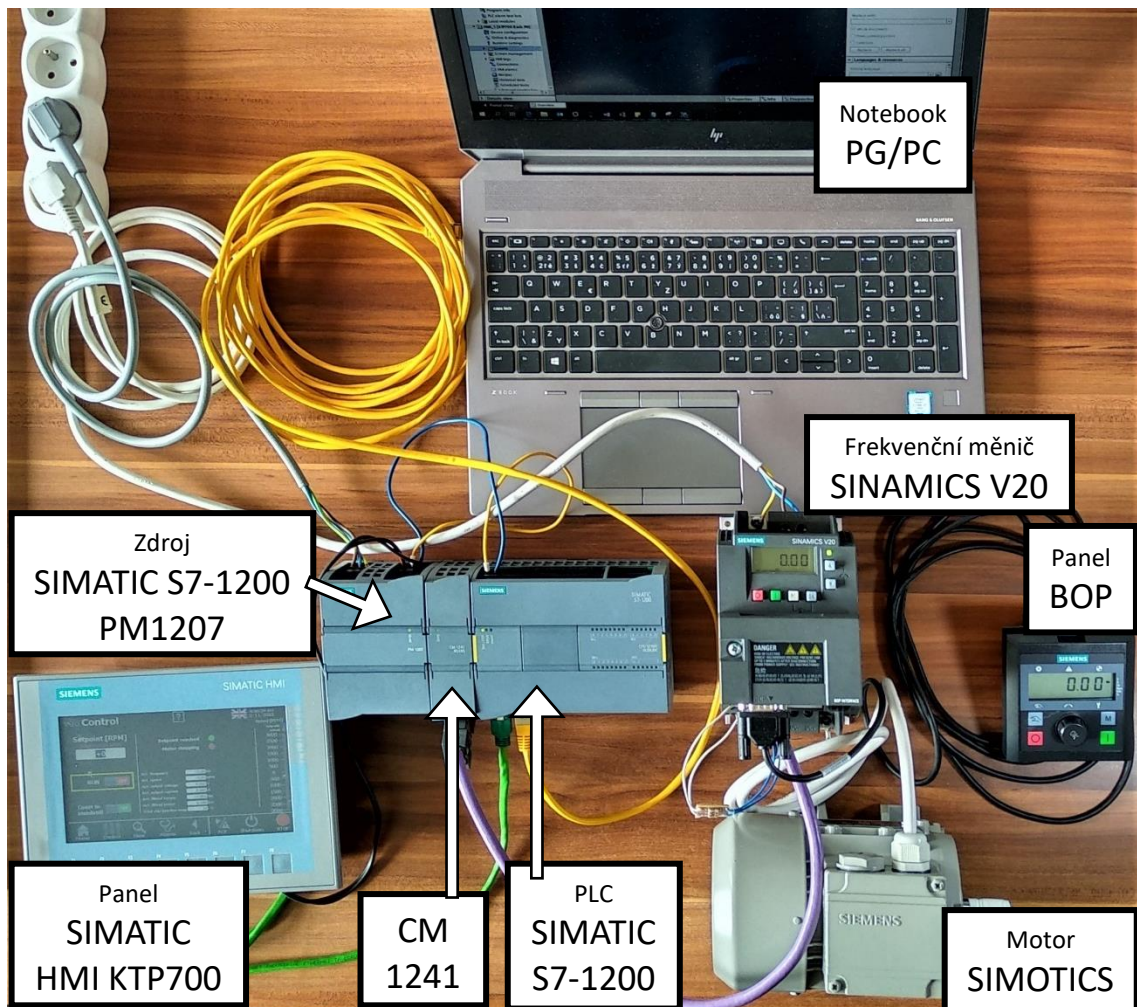
Siemens AG, Gleiwitzer Str.555, DE-90475 Nuremberg

Made in China

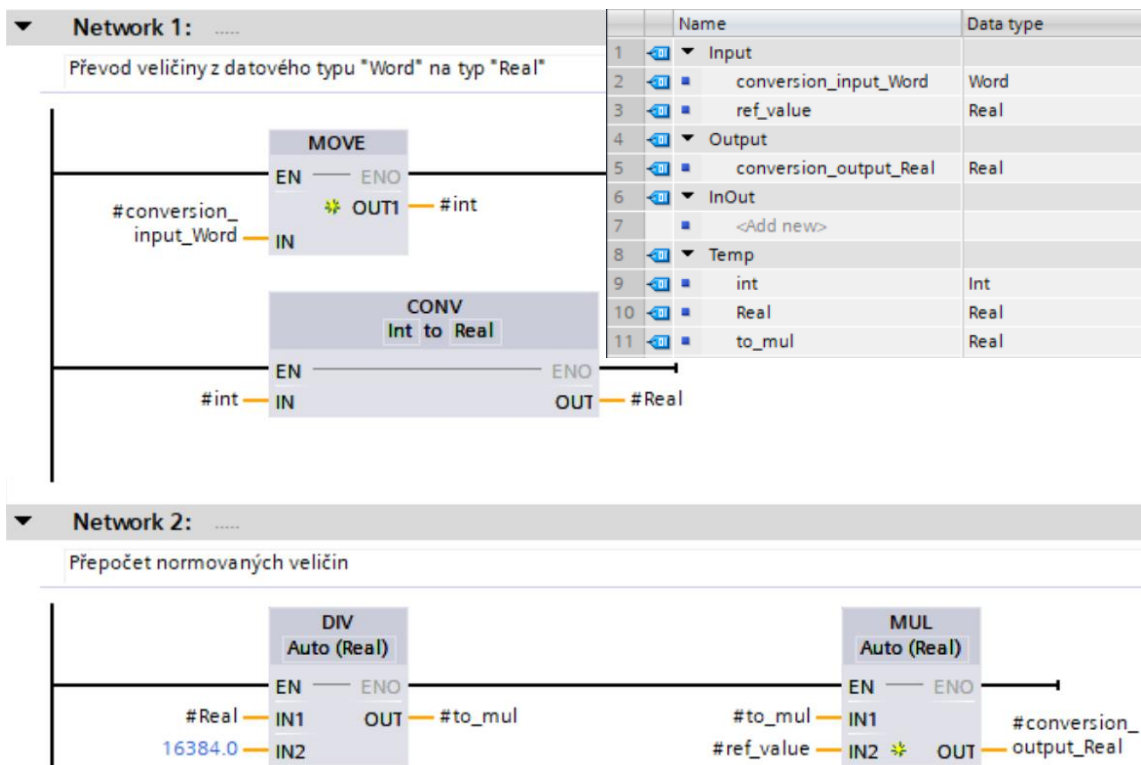
Obr. A-4: Štítek panelu SIMATIC HMI KTP700 Basic



Obr. A-5: Štítky PLC SIMATIC S7-1200 (vlevo), zdroje SIMATIC PM 1207 (uprostřed), kom. modulu CM 1241 (vpravo)



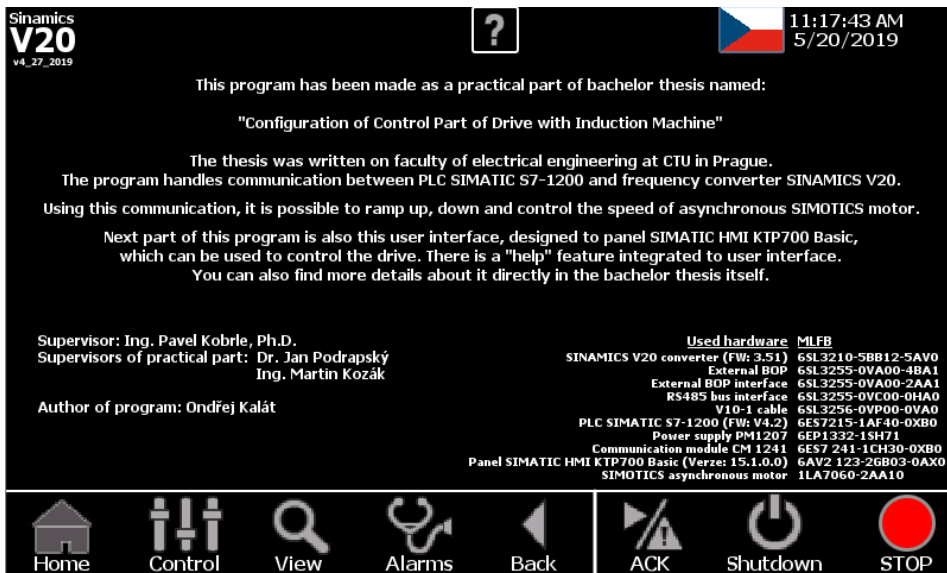
Obr. A-6: Pracoviště s veškerým zapojeným hardwarem, rozmístění dle Obr. 2-6



Obr. A-7: TIA portál – funkce „base conversion“



Obr. A-8: Grafické rozhraní – domovská obrazovka v anglickém jazyce



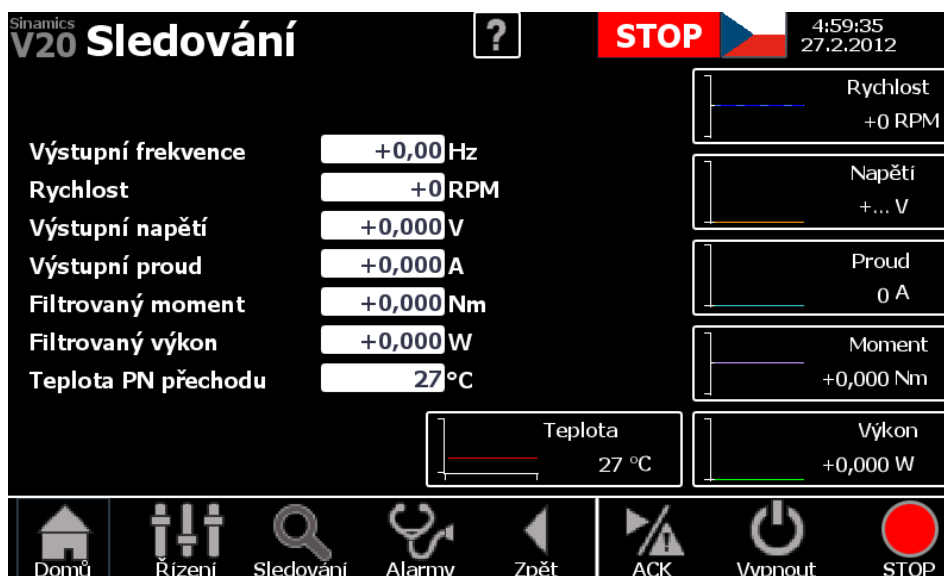
Obr. A-9: Grafické rozhraní – domovská obrazovka v českém jazyce



Obr. A-10: Grafické rozhraní – domovská obrazovka v českém jazyce s nápovědou



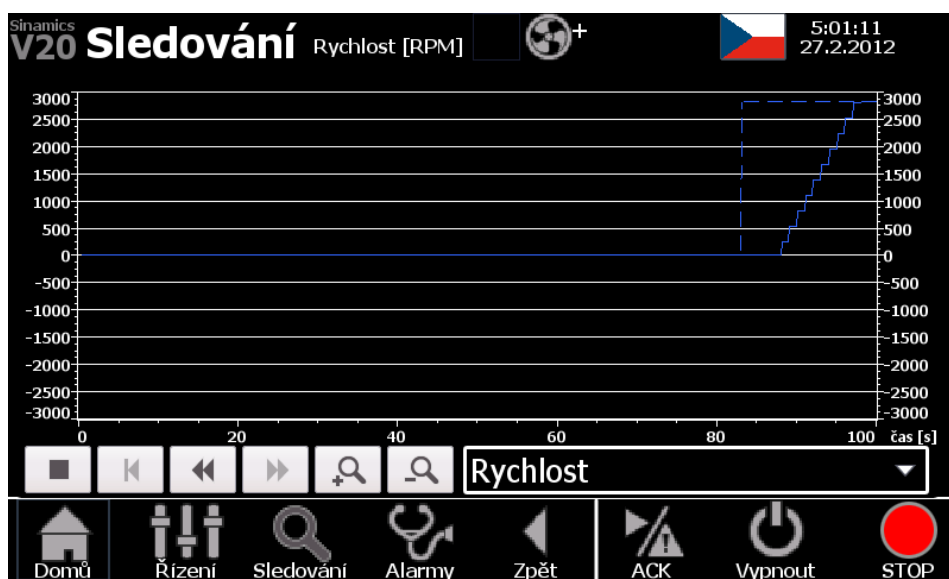
Obr. A-11: Grafické rozhraní – obrazovka Řízení



Obr. A-12: Grafické rozhraní – obrazovka Sledování



Obr. A-13: Grafické rozhraní – obrazovka Alarmy



Obr. A-14: Grafické rozhraní – Obrazovka s průběhem rychlosti a setpointu

Tab. A-1: Seznam veškerých změných parametrů na měniči pomocí BOP

Parametr	Stará → nová hodnota	Název	Popis
P00 10	0 → 30	Commissioning parameter	Filtrace parametrů dle stavu měniče
P0970	0 → 21	Factory reset	Spouští tovární nastavení
P0304	230.00 → 230.00	Rated motor voltage [V]	Jmenovité napětí motoru
P0305	1.10 → 0.88	Rated motor current [A]	Jmenovitý proud motoru
P0307	0.50 → 0.18	Rated motor power	Jmenovitý výkon motoru, jednotky dle P0100
P0308	0.60 → 0.82	Rated motor cosφ	Jmenovitý účinník motoru
P03 10	50.00 → 50.00	Rated motor frequency [Hz]	Jmenovitá frekvence motoru
P03 11	1395 → 2820	Rated motor speed [RPM]	Jmenovitá rychlost otáčení motoru
P 1900	0 → 2	Select motor data identification	Aktivace identifikace parametrů motoru

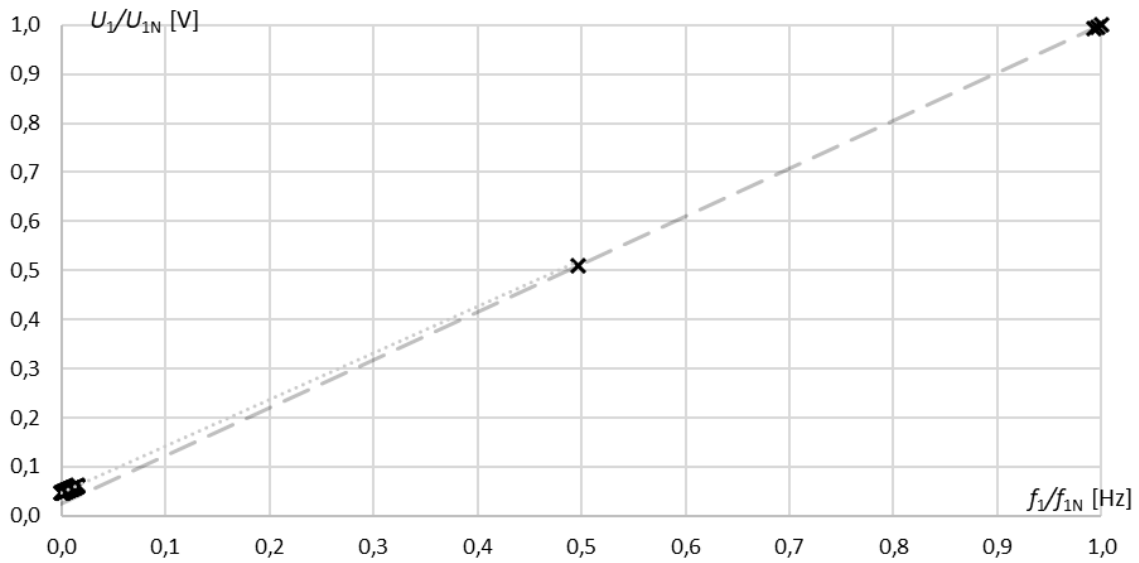
Parametr	Stará	→	nová hodnota	Název	Popis
P0700	1	→	5	Selection of command source	Výběr zdroje řídicího signálu
P1000	1	→	5	Selection of frequency setpoint	Výběr zdroje setpointu
P2010	6	→	8	USS/MODBUS baudrate	Maximální přenosová rychlost
P2011	0	→	1	USS address	Přiřazení unikátní adresy měniče
P2012	2	→	2	USS PZD length	Určuje délku PZD části telegramu
P2013	127	→	127	USS PKW length	Určuje délku PKW části telegramu
P2014	2000	→	500	USS/MODBUS telegram off time [ms]	Čas, po kterém přijde chyba, pokud měnič neobdrží telegram
P2023	1	→	1	RS485 protocol selection	Výběr protokolu
P0971	0	→	21	Transfer data from RAM to EEPROM	Kopírování dat do stálé EEPROM měniče
P2019		-		CI: PZD to USS/MODBUS on RS485	Zobrazuje PZD přenášená pomocí USS po lince RS485
in002	0	→	27	Index 2	CO: Actual output current [A]
in004	0	→	25	Index 4	CO: Actual output voltage [V]
in005	0	→	31	Index 5	CO: Actual filtered torque [Nm]
in006	0	→	32	Index 6	CO: Actual filtered power
in007	0	→	37.1	Index 7	Teplota PN přechodu [°C]

Parametr	Stará → nová hodnota	Název	Popis
P2001	1000 → 230	Reference voltage [V]	Referenční napětí pro normování
P2002	0.10 → 0.88	Reference current [A]	Referenční proud pro normování
P2003	0.75 → 1.22	Reference torque [Nm]	Referenční moment pro normování
P2004	0.75 → 0.36	Reference power	Referenční výkon pro normování
P1135	5 → 0.5	OFF3 ramp-down time [s]	Určuje rampu pro rychlé brzdění

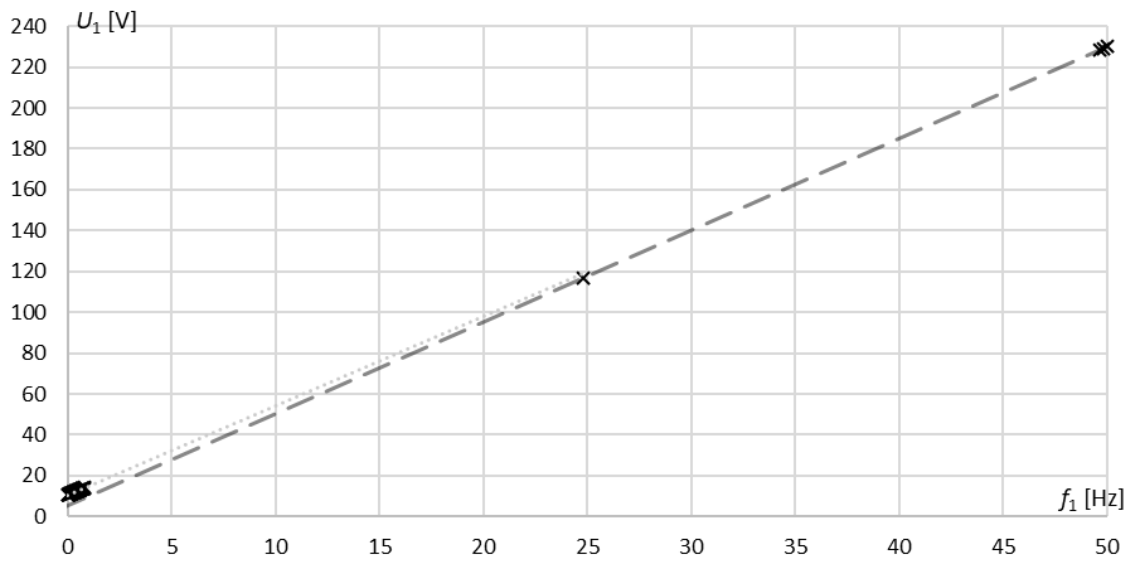
B Měření kompenzace R_1 při U/f

Tab. B-1: Doplnění Tab. I-1 (vlevo) a přepočítané hodnoty vztažené k jmenovitým (vpravo)

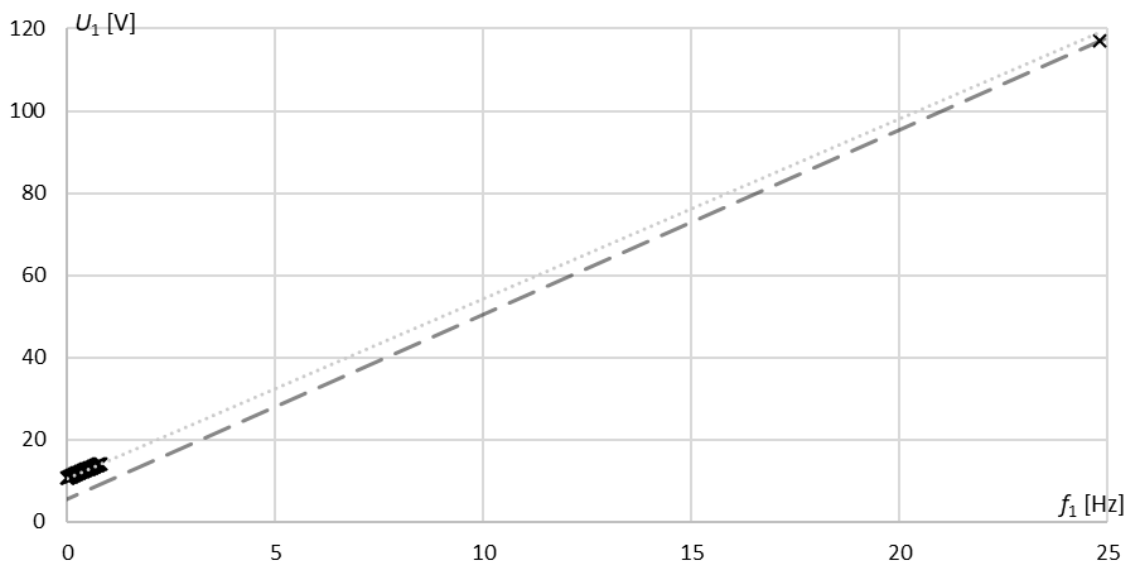
Ω [RPM]	f_1 [Hz]	U_1 [V]	U_1/f_1 [V/Hz]	$\Delta(U_1/f_1)$ [V/Hz]	Ω [RPM]	f_1/f_N [Hz]	U_1/U_N [V]	$(U_1/U_N)/(f_1/f_N)$ [V/Hz]	$\Delta(U_1/U_N)/(f_1/f_N)$ [V/Hz]
0	0,000	10,627	-	-	0	0,000	0,046	-	-
1	0,018	10,697	603,311	-	1	0,000	0,047	131,155	-
2	0,035	10,781	304,024	299,287	2	0,001	0,047	66,092	65,062
3	0,053	10,851	203,999	100,025	3	0,001	0,047	44,348	21,745
4	0,071	10,936	154,198	49,801	4	0,001	0,048	33,521	10,826
5	0,089	11,006	124,148	30,050	5	0,002	0,048	26,989	6,533
6	0,106	11,076	104,114	20,033	6	0,002	0,048	22,634	4,355
7	0,124	11,146	89,805	14,309	7	0,002	0,048	19,523	3,111
8	0,142	11,23	79,172	10,633	8	0,003	0,049	17,211	2,312
9	0,160	11,301	70,820	8,352	9	0,003	0,049	15,396	1,816
10	0,177	11,455	64,606	6,213	10	0,004	0,050	14,045	1,351
11	0,195	11,539	59,164	5,443	11	0,004	0,050	12,862	1,183
12	0,213	11,609	54,562	4,601	12	0,004	0,050	11,861	1,000
13	0,230	11,694	50,734	3,828	13	0,005	0,051	11,029	0,832
14	0,248	11,764	47,392	3,342	14	0,005	0,051	10,303	0,726
15	0,266	11,848	44,548	2,844	15	0,005	0,052	9,684	0,618
16	0,284	11,918	42,011	2,538	16	0,006	0,052	9,133	0,552
17	0,301	11,989	39,775	2,236	17	0,006	0,052	8,647	0,486
18	0,319	12,073	37,829	1,947	18	0,006	0,052	8,224	0,423
19	0,337	12,143	36,046	1,783	19	0,007	0,053	7,836	0,388
20	0,355	12,227	34,480	1,565	20	0,007	0,053	7,496	0,340
21	0,372	12,297	33,026	1,454	21	0,007	0,053	7,180	0,316
22	0,390	12,382	31,743	1,283	22	0,008	0,054	6,901	0,279
23	0,408	12,466	30,569	1,174	23	0,008	0,054	6,645	0,255
24	0,426	12,536	29,460	1,109	24	0,009	0,055	6,404	0,241
25	0,443	12,606	28,439	1,020	25	0,009	0,055	6,182	0,222
26	0,461	12,69	27,528	0,912	26	0,009	0,055	5,984	0,198
27	0,479	12,761	26,656	0,871	27	0,010	0,055	5,795	0,189
28	0,496	12,831	25,845	0,811	28	0,010	0,056	5,619	0,176
29	0,514	12,901	25,090	0,755	29	0,010	0,056	5,454	0,164
30	0,532	12,985	24,412	0,678	30	0,011	0,056	5,307	0,147
31	0,550	13,055	23,752	0,660	31	0,011	0,057	5,163	0,144
32	0,567	13,126	23,135	0,617	32	0,011	0,057	5,029	0,134
33	0,585	13,196	22,553	0,581	33	0,012	0,057	4,903	0,126
34	0,603	13,28	22,029	0,524	34	0,012	0,058	4,789	0,114
35	0,621	13,35	21,513	0,517	35	0,012	0,058	4,677	0,112
36	0,638	13,434	21,047	0,466	36	0,013	0,058	4,575	0,101
37	0,656	13,491	20,565	0,482	37	0,013	0,059	4,471	0,105
38	0,674	13,575	20,148	0,417	38	0,013	0,059	4,380	0,091
39	0,691	13,659	19,753	0,395	39	0,014	0,059	4,294	0,086
40	0,709	13,729	19,358	0,395	40	0,014	0,060	4,208	0,086
41	0,727	13,813	19,001	0,357	41	0,015	0,060	4,131	0,078
42	0,745	13,884	18,644	0,357	42	0,015	0,060	4,053	0,078
43	0,762	13,954	18,302	0,342	43	0,015	0,061	3,979	0,074
44	0,780	14,024	17,976	0,326	44	0,016	0,061	3,908	0,071
45	0,798	14,108	17,682	0,294	45	0,016	0,061	3,844	0,064
1400	24,823	116,993	4,713	-	1400	0,496	0,509	1,025	-
2800	49,645	228,400	4,601	-	2800	0,993	0,993	1,000	-
2810	49,823	229,186	4,600	-	2810	0,996	0,996	1,000	-
2820	50,000	229,986	4,600	-	2820	1,000	1,000	1,000	-



Obr. B-1: Graf změřené závislosti $U_1/U_{1N} = f(f_1/f_{1N})$



Obr. B-2: Graf změřené závislosti $U_1 = f(f_1)$



Obr. B-3: Přibližná část grafu z obrázku B-2

C Obsah přiloženého CD

- Složka „Kalat_Ondrej_BP“

Obsahuje soubory potřebné pro spuštění programu pro PLC.

- Soubor „B Měření kompenzace.xlsx“

Obsahuje data měření z podkapitoly 1.1.

- Soubor „Kalat_Ondrej_BP.mp4“

Obsahuje krátké video demonstrující funkčnost programu a grafického rozhraní.