

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra elektrických pohonů a trakce

Řízení frekvenčního měniče ATV320 po komunikační sběrnici

CANopen z PLC

Control of Frequency Converter Altivar ATV320 over

CANopen from PLC

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

Vedoucí práce: Ing. Radek Havlíček Ph.D.

Jan Markvart

Praha 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Markvart Jméno: Jan Osobní číslo: 434793
Fakulta/ústav: Fakulta elektrotechnická
Zadávající katedra/ústav: Katedra elektrických pohonů a trakce
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Řízení frekvenčního měniče ATV320 po komunikační sběrnici CANopen z PLC

Název bakalářské práce anglicky:

Control of Frequency Converter Altivar ATV320 over CANopen from PLC

Pokyny pro vypracování:

- 1) Analyzujte vlastnosti měniče ATV320 firmy Schneider Electric.
- 2) Analyzujte vlastnosti komunikační sběrnice CANopen.
- 3) Proveďte propojení měniče s vhodně zvoleným PLC pomocí sběrnice CANopen a sestavte ukázkový program pro demonstraci vlastností měniče ATV320.

Seznam doporučené literatury:

[1] Schneider Electric [online]. [cit. 2017-02-14]. Schneider Electric. Dostupné z WWW: < http://www.schneider-electric.cz/cs/>.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Radek Havlíček Ph.D., katedra elektrických pohonů a trakce FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: 15.02.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: _____

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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.“

V Praze dne 24.5. 2017

Jan Markvart

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá řízením frekvenčního měniče ATV320 od firmy Schneider Electric po komunikační sběrnici CANopen z PLC. Cílem této práce je popsat konkrétní typ frekvenčního měniče ATV320U07M2C, jakým způsobem funguje komunikační protokol CANopen a jakým způsobem propojit frekvenční měnič ATV320 a PLC pomocí komunikační sběrnice CANopen. Dále se tato práce zabývá sestavením ukázkového programu, který demonstruje základní vlastnosti frekvenčního měniče ATV320.

Sestavení ukázkového programu bylo provedeno ve vývojovém prostředí SoMachine od firmy Schneider Electric. Vytvořený program umožňuje řídit třífázový asynchronní motor, který je napájen z frekvenčního měniče ATV320. Motor lze rozběhnout a zastavit v jednom nebo v opačném směru pomocí tlačítek ovládacího panelu, který je připojen k diskretním vstupům a výstupům PLC M241.

Tato práce může sloužit jako návod pro nastavení komunikačního protokolu CANopen pro zařízení firmy Schneider Electric a jako návod pro vytvoření programu ve vývojovém prostředí SoMachine, který umožňuje řídit asynchronní motor napájený z frekvenčního měniče ATV320.

Klíčová slova

Frekvenční měnič, ATV320, PLC M241, CANopen, Asynchronní motor, SoMachine

Abstract

This bachelor thesis is focused on control of the frequency converter ATV320 from Schneider Electric over the communication protocol CANopen from a PLC. The main goal of this thesis is to describe the specific type of the frequency converter ATV320U07M2C, how the CANopen communication protocol works and how to connect the frequency converter ATV320 and the PLC using the CANopen communication bus. This thesis is also focused on assembly of the demonstration program which shows the basic characteristics of the frequency converter ATV320.

The demonstration program was made in the SoMachine development environment from Schneider Electric. The created program allows to control a three-phase induction motor which is powered by the frequency converter ATV320. The induction motor can be started and stopped in one or in the other direction by using the control panel buttons which are connected to the discrete inputs and outputs of the PLC M241.

This thesis can serve as a guide for setting up the CANopen communication protocol for Schneider Electric devices and as guide for creating a program in the SoMachine development environment which allows to control an induction motor powered by the frequency converter ATV320.

Keywords

Frequency Converter, ATV320, PLC M241, CANopen, Induction Motor, SoMachine

Obsah

1	Úvod.....	12
1.1	Cíle práce.....	12
2	Asynchronní motor.....	13
2.1	Princip asynchronního motoru	13
2.2	Konstrukce asynchronního motoru.....	14
2.3	Řízení rychlosti asynchronního motoru.....	16
3	Frekvenční měnič	19
3.1	Princip nepřímého měniče frekvence	19
4	Frekvenční měnič ATV320	24
4.1	Základní technické specifikace ATV320	24
4.2	Základní funkce měniče	27
4.3	Automatické ladění.....	29
4.4	Řízení motoru při konstantním poměru U/f	29
4.5	Rozběh, doběh a rampy	30
4.6	Funkce STOP	32
4.7	Spínací frekvence IGBT tranzistorů měniče	32
4.8	Bezpečnostní funkce měniče	32
5	Komunikační protokol CANopen	34
5.1	Slovník objektů.....	36
5.2	Objekty technologických dat.....	36
5.3	Objekty servisních dat	36
5.4	Objekty pro správu sítě.....	37
6	Programovatelný logický automat.....	38
6.1	Programovatelný logický automat TM241CEC24T.....	38
7	Praktická část	40
7.1	Zapojení sestavy	40

7.1	Vývojové prostředí SoMachine	41
7.1	Komunikace mezi PLC a PC	42
7.2	Zapojení komunikace CANopen mezi PLC a ATV320	43
7.3	Nastavení komunikace CANopen	44
7.4	Program v SoMachine pro ovládání měniče ATV320	47
8	Závěr.....	51
8.1	Srovnání cílů práce s výsledky	51
9	Použitá literatura.....	52
10	Přílohy	54
10.1	Silové schéma zapojení	54
10.2	Zapojení vstupů a výstupů PLC a ATV320.....	55
10.3	Fotodokumentace pracoviště	56
10.4	Funkční blok Control_ATV	58

Seznam tabulek

Tab. 1 Tovární nastavení frekvenčního měniče [9].....	28
Tab. 2 Štítkové hodnoty asynchronního motoru	40
Tab. 3 Vysvětlení funkce tlačítek na ovládacím panelu	41
Tab. 4 Zdířky konektoru pro připojení komunikace CANopen	44
Tab. 5 Nastavení komunikace CANopen frekvenčního měniče ATV320	45
Tab. 6 Nastavení vstupů funkčního bloku Control_ATV.....	48
Tab. 7 Ovládání asynchronního motoru pomocí tlačítek ovládacího panelu	49
Tab. 8 Funkční blok Control_ATV	58

Seznam obrázků

Obr. 1 Momentová charakteristika asynchronního motoru.....	13
Obr. 2 Statorový plech asynchronního motoru [1].....	15
Obr. 3 Rotorová klec nakrátko asynchronního motoru [1].....	16
Obr. 4 Řízení otáčivé rychlosti při konstantním poměru U/f	17
Obr. 5 Mechanická charakteristika asynchronního motoru při řízení změnou napájecí frekvence [5].	17
Obr. 6 Schéma nepřímého měniče frekvence.....	20
Obr. 7 Průběh usměrněného napětí U_d neřízeného třífázového můstkového usměrňovače – horní obrázek. Průběhy napájení neřízeného třífázového můstkového usměrňovače – spodní obrázek.....	21
Obr. 8 Pulsně šířková modulace (PWM – Pulse Width Modulation).....	23
Obr. 9 Frekvenční měnič ATV320U07M2C [7].....	24
Obr. 10 Přední strana ATV320 [9].....	25
Obr. 11 Grafický terminál [9].....	27
Obr. 12 Vzdálený terminál s čtyřmístným displejem [9].....	27
Obr. 13 Graf řízení při konstantním poměru U/f	29
Obr. 14 S-rampa [9].....	30
Obr. 15 U-rampa [9].....	31
Obr. 16 Uživatelská rampa [9].....	31
Obr. 17 Safe Torque Off funkce [10].....	33
Obr. 18 Vrstvy sběrnice CAN a CANopen [13].....	35
Obr. 19 PLC M241 [17].....	39
Obr. 20 Nastavení komunikace mezi PC a PLC v SoMachine.....	42
Obr. 21 Nastavení sítě počítače.....	43
Obr. 22 CANopen konektor na PLC [18].....	44
Obr. 23 CANopen konektor RJ45 na měniči ATV320 [18].....	44
Obr. 24 Nastavení přenosové rychlosti v programu SoMachine.....	45
Obr. 25 Nastavení CANopen master zařízení v programu SoMachine.....	46

Obr. 26 Nastavení CANopen slave zařízení v programu SoMachine	46
Obr. 27 Funkční blok Control_ATV	47
Obr. 28 Ladder diagram pro signalizaci stavů programu	50
Obr. 29 Silové schéma zapojení	54
Obr. 30 Zapojení vstupů a výstupů PLC a ATV320	55
Obr. 31 Zapojení sestavy	56
Obr. 32 Ovládací panel.....	57

Seznam použitých symbolů

f_l	napájecí frekvence asynchronního motoru [Hz]
f_s	skluzová frekvence asynchronního motoru [Hz]
s	skluz asynchronního motoru [-]
n	otáčky asynchronního motoru [ot*min ⁻¹]
n_s	synchronní otáčky asynchronního motoru [ot*min ⁻¹]
p_p	počet pólů elektrického motoru [-]
ω	mechanická úhlová rychlost rotoru asynchronního motoru [s ⁻¹]
ω_l	úhlová rychlost točivého pole statoru [s ⁻¹]
F	síla [N]
B	magnetická indukce [T]
I	elektrický proud [A]
l	délka [m]
L	indukčnost [H]
C	kapacita [F]
P	výkon [W]

1 Úvod

Tato bakalářská práce se věnuje problematice řízení frekvenčního měniče z PLC po komunikační sběrnici CANOpen. V této práci je popsán konkrétní typ měniče ATV320U07M2C od společnosti Schneider Electric.

Měniče frekvence slouží k přeměně střídavé elektrické energie jednoho kmitočtu na střídavou elektrickou energii jiného kmitočtu. Měniče frekvence mají v dnešní době širokou oblast využití díky tomu, že umožňují nízký proudový náraz při spouštění a plynulou regulaci otáček změnou napájecího kmitočtu. Používají se pro řízení asynchronních a synchronních elektrických motorů. Výrobou frekvenčních měničů se zabývá mnoho firem po celém světě, pro uvedení výrobou měničů frekvence se například zabývá společnost Schneider Electric.

V této práci se budeme zabývat frekvenčním měničem, kterým budeme řídit rychlost otáčení asynchronního motoru. Asynchronní motor je elektrický točivý stroj, který je napájen střídavou elektrickou energií. Díky jeho jednoduché konstrukci a nízké údržbě mají tyto elektrické motory dlouhou životnost. Jeho použití v průmyslu je velmi rozšířené.

Samotným frekvenčním měničem lze řídit elektrický motor a provádět základní operace jako je rozběh, běh, doběh nebo brzdění motoru. V aplikacích, kde kromě samotného elektrického motoru se mohou nacházet i jiné akční členy a senzory, je namísto použití k řízení elektrického motoru a celé aplikace programovatelný logický automat neboli PLC (Programmable Logic Controller). PLC je průmyslový počítač používaný pro automatizaci procesů v reálném čase.

Komunikace mezi frekvenčním měničem a PLC se uskutečňuje u ATV320 pomocí průmyslové komunikační sběrnice CANOpen. Tato komunikační sběrnice se v dnešní době využívá v mnoha odvětvích průmyslu, jako je lékařská technika, námořní systémy, ve veřejné dopravě nebo v automatizaci ve strojírenství či stavebnictví.

1.1 Cíle práce

1. Popsat obecně frekvenční měnič, asynchronní motor a programovatelný logický automat.
2. Analyzovat vlastnosti frekvenčního měniče ATV320 firmy Schneider Electric.
3. Analyzovat vlastnosti komunikační sběrnice CANOpen.
4. Provést propojení frekvenčního měniče s PLC pomocí komunikační sběrnice CANOpen a sestavit ukázkový program pro demonstraci vlastností měniče ATV320.
5. Zhodnocení výsledků práce.

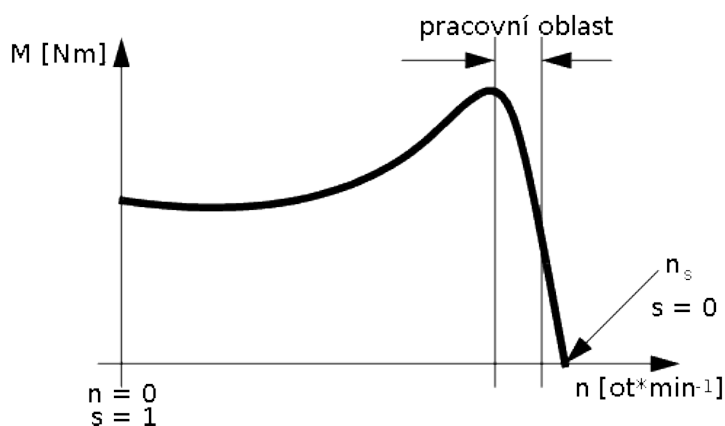
2 Asynchronní motor

Asynchronní motor je točivý elektrický stroj, který přeměňuje elektrickou energii na mechanickou. Tento elektrický motor je určen pro napájení střídavou elektrickou energií a je nejrozšířenějším motorem v elektrotechnice díky tomu, že je provozně nejspolehlivější, jeho náklady na údržbu jsou nízké a je konstrukčně jednoduchý. Díky těmto výhodám jsou asynchronní motory často používány v elektrických pohonech např. pro zvedací zařízení, jeřáby, výtahy, čerpadla nebo pásové dopravníky. Jejich velké použití vede k hromadné automatizované výrobě, díky které jsou tyto motory cenově levnější.

2.1 Princip asynchronního motoru

Asynchronní motor funguje na principu vzájemného působení točivého magnetického pole statoru a proudů, které se jím indukují do rotoru. Proto se také někdy tomuto motoru přezdívá indukční motor. Přivedením proměnlivého napětí na svorky motoru vznikne ve statoru točivé magnetické pole, vlivem kterého se ve vinutí rotoru indukují napětí, které v uzavřeném obvodu rotoru vyvolá proud. Vzájemným působením točivého magnetického pole statoru a rotoru vzniká moment, který podle Lenzova zákona působí proti příčině svého vzniku. Takto vzniklý moment otáčí rotorem ve směru otáčení magnetického pole statoru. V případě, kdyby se rotor otáčel stejnou rychlostí jako pole statoru, tedy synchronními otáčkami, do vinutí rotoru by se indukovalo nulové napětí a protékal by jím nulový proud a motor by měl nulový hnací moment.

Na Obr. 1 je zobrazena momentová charakteristika asynchronního motoru. Na svislé ose je vynesena moment a na vodorovné ose otáčky motoru.



Obr. 1 Momentová charakteristika asynchronního motoru

V počátku souřadnic, kdy motor má nulové otáčky, je skluz motoru $s = 1$. Do rotorového vinutí se indukují napětí s frekvencí napájecího napětí. V tomto okamžiku může motorem protékat až sedminásobek jmenovitého proudu motoru, v závislosti na kvalitě magnetického obvodu stroje. V části charakteristiky, která je vyznačena svislicemi, se nachází pracovní oblast motoru.

V této oblasti je skluz s v rozmezí hodnot (1 - 5) %. Tato oblast je blízká synchronním otáčkám označenými n_s , kde skluz motoru je blízký nule a do rotorového vinutí se indukují napětí a proud se skluzovou frekvencí f_s . Vztah pro skluzovou frekvenci je:

$$f_s = s * f_1 \quad (1)$$

Motorem tak protéká nižší proud než při rozběhu a zároveň motor disponuje svým jmenovitým momentem. Otáčky motoru lze určit ze vztahu:

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

Skluz s asynchronního motoru udává rozdíl mezi rychlostí otáčení magnetického pole statoru a mechanickou rychlostí otáčení rotoru. Je to bezrozměrná jednotka, která je někdy udávána v procentech a je definována vztahem:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (3)$$

Pokud je skluz roven $s = 1$, otáčky motoru jsou nulové a do rotorového vinutí se indukují napětí s frekvencí napájení a motorem protéká velký záběrný proud. V případě, kdyby rychlost otáčení magnetického pole statoru a mechanická rychlost otáčení rotoru byla shodná, motor by se otáčel synchronními otáčkami. Při těchto otáčkách se do rotorového vinutí indukují nulové napětí a rotorem protéká nulový proud. Podle vztahu

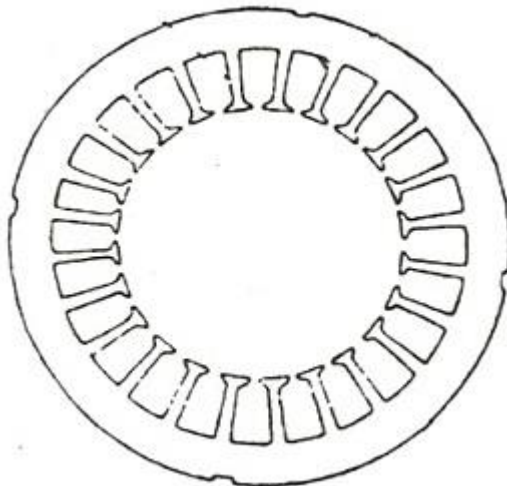
$$F = B * I * l, \quad (4)$$

na rotor motoru působí nulová síla a hnací moment je také roven nule. Vlivem mechanických ztrát se rotor brzdí a rychlost otáčení klesne na jmenovité otáčky motoru. V oblasti synchronních otáček n_s motor nepracuje trvale, ale jen pouze přechodnou dobu při přechodu z motorového režimu do generátorového a obráceně. Motor se nachází v generátorovém chodu v případě, kdy je otáčivá rychlost vyšší než synchronní, respektive, kdy je skluz s menší než nula. Motor v tomto režimu dodává do sítě jalový výkon.

2.2 Konstrukce asynchronního motoru

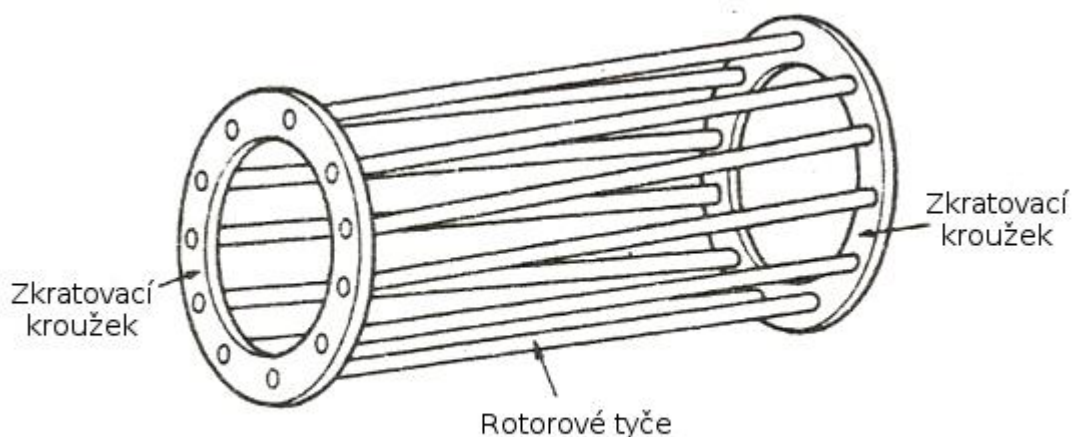
Asynchronní motor se skládá ze dvou základních částí, statoru a rotoru. Stator asynchronního motoru je složen z navzájem izolovaných prstenců plechů z oceli, určené pro elektrotechniku. Jednotlivé plechy o tloušťce 0,5 mm jsou na sebe skládány do tzv. paketů. Toto uspořádání má zajistit vyšší elektrický odpor statoru tak, aby se snížily ztráty vířivými proudy. Na vnitřní straně obvodu prstence plechů jsou vystříhány drážky, ve kterých je uloženo statorové vinutí. Asynchronní motory jsou zpravidla určeny buďto pro jednofázové nebo třífázové napájení elektrickou energií. Každý motor má alespoň jeden nebo více pólů na fázi.

Na Obr. 2 je znázorněn plech statoru asynchronního motoru. Mezi státorem a rotorem se nachází vzduchová mezera, kterou se přenáší elektromagnetický výkon ze statorového do rotorového vinutí. Tloušťka vzduchové mezery by měla být co nejmenší vzhledem k maximální účinnosti stroje, obvykle se volí v řádech jednotek milimetrů.



Obr. 2 Statorový plech asynchronního motoru [1]

Rotor asynchronního motoru se otáčí v ložiskách, které jsou uloženy v ložiskových štítech motoru. Rotor motoru je složen z plechů pro elektrotechniku, stejně jako stator. Rozlišujeme dva druhy typů rotorového vinutí. Asynchronní motor s rotorovým vinutím vyvedeným na sběrací kroužky, někdy přezdívaný jako kroužkový motor, a rotor s klecí nakrátko. Kroužkové motory mají vyvedené vinutí na sběrací kroužky, na které dosedají odklápěcí sběrací kartáče. Tyto sběrací kartáče jsou při spouštění motoru připojeny ke spouštěcím rezistorům, kterými se mění odpor rotorového vinutí a snižuje se tak záběrný proud motoru při rozběhu. Po rozběhu motoru na jmenovité otáčky se kartáče odklopí a rotor motoru je zkratovaný. Jedná se však o rozběh ztrátový, protože elektrická energie se v rezistorech přeměňuje na teplo, a proto je tento typ motorů nahrazován asynchronními motory s klecí nakrátko. Klec rotoru je nejčastěji vyrobena z mědi, bronzu, hliníku nebo z některých jiných slitin. Na oba konce klece jsou umístěny zkratovací kroužky, které spojí rotorové tyče nakrátko. Tento typ rotoru s klecí nakrátko je znázorněn na Obr. 3.



Obr. 3 Rotorová klec nakrátko asynchronního motoru [1]

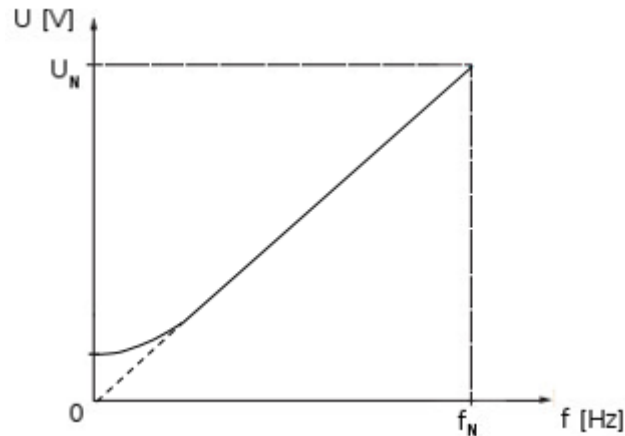
2.3 Řízení rychlosti asynchronního motoru

Z výše uvedeného vztahu (2) pro otáčky asynchronního motoru lze vydedukovat, že změnu otáčivé rychlosti motoru lze měnit pomocí změny počtu pólů p_p , napájecí frekvence f_l nebo změnou skluzu s motoru.

Pro řízení otáčivé rychlosti asynchronního motoru změnou počtu pólů je třeba, aby motor byl vhodně konstrukčně uspořádán. Vzhledem k technologické náročnosti se vyrábějí dvou, tří nebo nejvýše čtyřrychlostní asynchronní motory. Pomocí přepínání počtu pólů lze měnit otáčivou rychlost motoru. Tento způsob řízení se v dnešní době příliš nepoužívá, protože konstrukčním uspořádáním motoru s přepínáním počtu pólů má za následek vyšší cenu motoru a fakt, že jde spíše o přepínání otáčivé rychlosti než o řízení otáček v plném rozsahu.

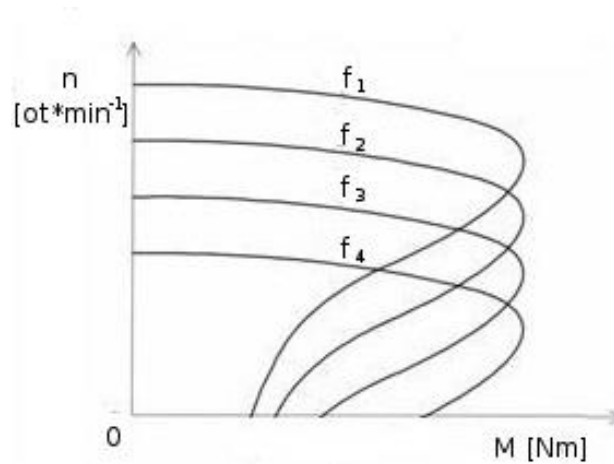
Další možností, jak řídit otáčivou rychlost motoru, je pomocí změny skluzu s . Skluz motoru lze měnit změnou odporu rotorového vinutí. Toho lze docílit pouze u kroužkových asynchronních motorů. Jedná se o řízení ztrátové, protože část elektrické energie se přeměňuje v rezistorech na tepelnou energii.

Mezi nepoužívanější způsob řízení otáčivé rychlosti asynchronního motoru v současné době patří řízení změnou napájecí frekvence f_l . K tomuto řízení je zapotřebí použití napájení motoru pomocí měniče kmitočtu, jehož principem se budeme zabývat v kapitole 3. Nejčastěji se při napájení z měniče kmitočtu používá řízení při konstantním poměru napájecího napětí a frekvence. Při nízkých frekvencích klesá napětí pomaleji než frekvence. Toto je z důvodu, že při nízkých frekvencích nelze zanedbat úbytek napětí na odporu statorového vinutí vůči rozptylové indukčnosti tohoto vinutí. Pokud by byl zachován konstantní poměr U/f i při nízké napájecí frekvenci, úbytek napětí na odporu statorového vinutí by způsobil pokles napětí na svorkách motoru a tím by poklesl moment zvratu. Zobrazení průběhu tohoto řízení je zobrazeno v charakteristice na Obr. 4.



Obr. 4 Řízení otáčivé rychlosti při konstantním poměru U/f

Pokud je potřeba zvýšit otáčivou rychlost motoru nad jmenovité hodnoty, zvyšujeme napájecí frekvenci při konstantním napájecím napětí. Tímto způsobem dosáhneme vyšší otáčivé rychlosti, než je jmenovitá, ale zároveň poklesne moment motoru. Chování asynchronního motoru při napájení proměnlivou frekvencí s dodržением konstantního poměru U/f je znázorněno mechanickou charakteristikou na Obr. 5. V charakteristice je zakresleno několik křivek pro různé napájecí frekvence a platí: $f_1 > f_2$.



Obr. 5 Mechanická charakteristika asynchronního motoru při řízení změnou napájecí frekvence [5]

U tohoto druhu řízení je při změně napájecí frekvence zachován maximální moment asynchronního motoru. Motor tak může při rozběhu disponovat velkým záběrným momentem a zároveň jím neprochází tak velký proud jako při rozběhu motoru přímým připojením na síť. Tím dochází k úspoře elektrické energie a zároveň není přetěžována napájecí síť proudovým nárazem. Tento druh řízení se používá u aplikací, u kterých není potřeba znát přesnou otáčivou rychlost motoru, například u čerpadel, ventilátorů nebo u zvedacích zařízení apod.

V aplikacích, u kterých je třeba, aby asynchronní motor pracoval s přesně požadovanou otáčivou rychlostí, se používá například metoda přímého řízení momentu nebo metoda vektorového řízení. Popis těchto druhů řízení asynchronního motoru je nad rámec této práce.

3 Frekvenční měnič

Měniče frekvence přeměňují střídavou elektrickou energii jednoho kmitočtu na elektrickou energii jiného kmitočtu. Používají se pro pohony s asynchronními i synchronními elektrickými motory díky tomu, že umožňují plynulé řízení otáčivé rychlosti a šetří elektrickou energii. Dovolují realizovat pohony, u kterých se otáčivá rychlost pohybuje v jednotkách otáček za minutu jako například u míchacích zařízení pro směsi a barvy, nebo naopak pro pohony, jejichž otáčivá rychlost dosahuje až několika tisíc otáček za minutu jako například u odstředivek. Dále našly měniče frekvence uplatnění v aplikacích pro indukční ohřev a pro spojování elektrizačních soustav s odlišnými kmitočty sítě jako například spojení elektrizační soustavy Japonska a Číny, kde jsou kmitočty sítě 60 Hz a 50 Hz.

Měniče frekvence rozdělujeme do dvou základních skupin:

- přímé měniče frekvence,
- nepřímé měniče frekvence.

Přímý měnič frekvence se skládá z antiparalelních nereverzačních usměrňovačů. Periodickým měněním střední hodnoty výstupního napětí pomocí řídicího úhlu je možno měnit výstupní frekvenci tohoto druhu měniče. Jeho nevýhodou je, že výstupní frekvence je mnohem menší než vstupní. V dnešní době převažuje použití v praxi především nepřímého měniče frekvence, proto se přímým měničem frekvence v této práci již dále zabývat nebudeme. Při další zmínce o frekvenčním měniči budeme automaticky předpokládat, že se jedná o nepřímý typ.

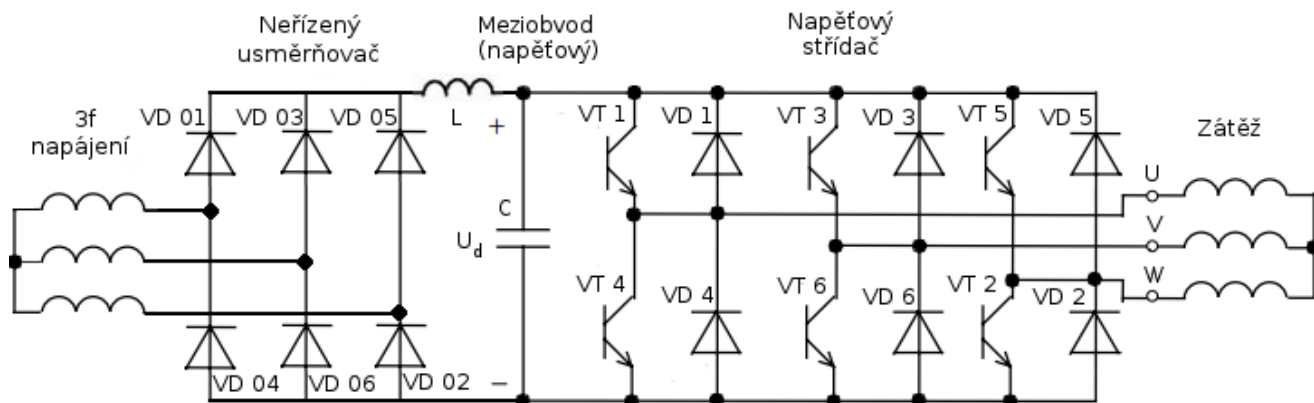
3.1 Princip nepřímého měniče frekvence

Nepřímý měnič frekvence se skládá ze čtyř základních částí, které si v této kapitole blíže popíšeme:

- vstupní usměrňovač,
- stejnosměrný meziobvod,
- střídač,
- řídicí elektronika.

Na Obr. 6 je příklad zapojení měniče frekvence s napěťovým meziobvodem. Na vstupu měniče je zapojen třífázový můstkový neřízený usměrňovač, který je napájen z třífázové napájecí sítě přes transformátor. V obrázku je zakresleno pouze sekundární vinutí transformátoru. Za usměrňovačem se nachází stejnosměrný meziobvod napěťového typu, kde je zapojena vyhlazovací tlumivka L a velkokapacitní kondenzátor C . Výstupní napájení k zátěži je vytvořeno pomocí třífázového napěťového střídače, který je složen z výkonových tranzistorů VT a diod VD . Jako zátěž může být pro toto zapojení použit například asynchronní nebo synchronní motor. V Obr. 6 je zakreslena pouze silová část obvodu,

a proto v něm nenajdeme řídicí elektroniku, která se stará o správné spínání výkonových součástek frekvenčního měniče.

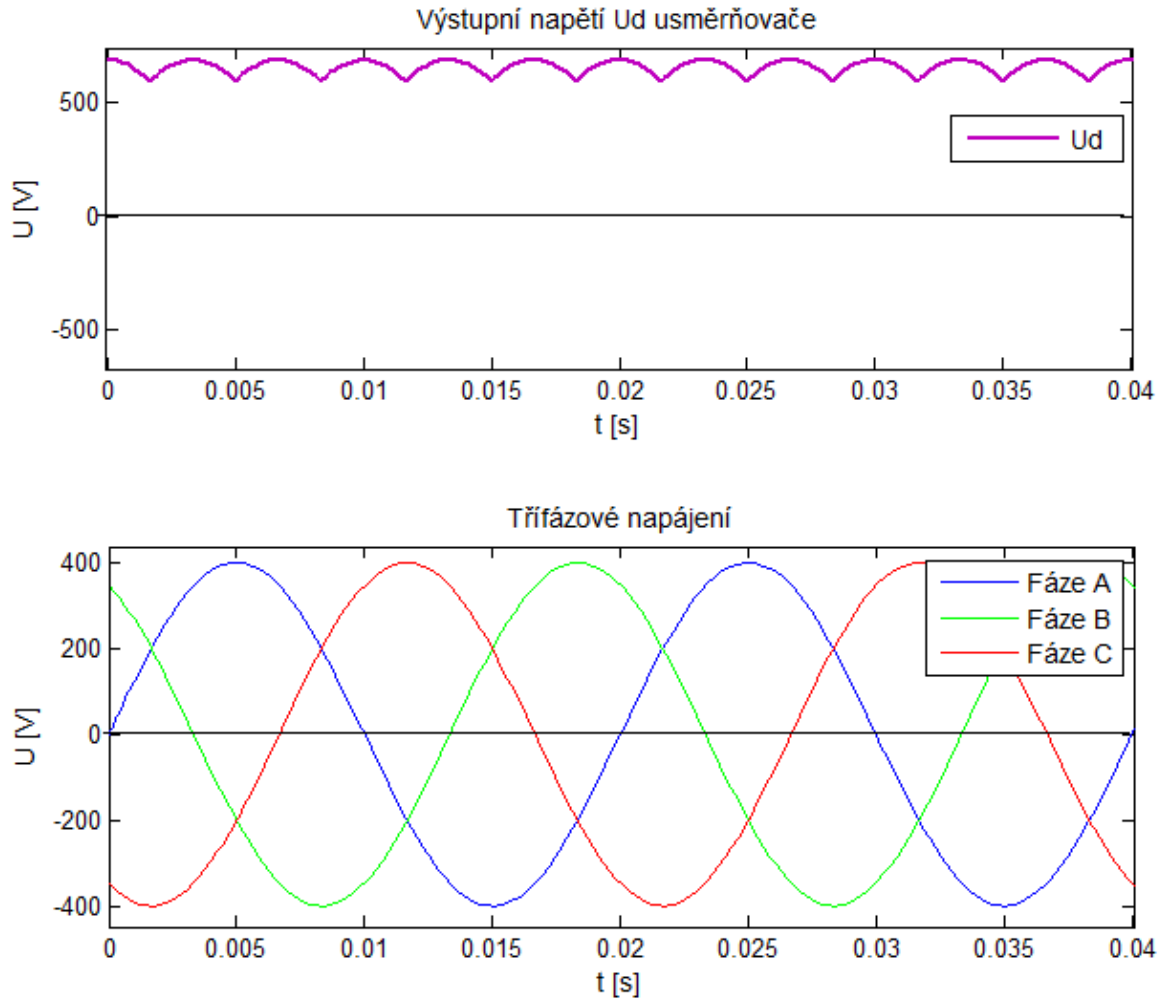


Obr. 6 Schéma nepřímého měniče frekvence

Vstupní usměrňovač přeměňuje vstupní střídavé napětí a proudy na výstupní stejnosměrné napětí a proudy. Tato přeměna elektrických veličin je umožněna díky nelineárním vlastnostem polovodičových součástek a jejich přechodu z vodivého do nevodivého stavu a naopak. Obecně rozlišujeme usměrňovače podle toho, jestli jsou:

- jednofázové, třífázové nebo vícefázové,
- v zapojení uzlovém nebo můstkovém,
- řízené, neřízené nebo polořízené,
- podle počtu pulzů výstupního napětí v jedné periodě napájecího napětí.

Pro frekvenční měniče se nejčastěji používá neřízený (diodový) usměrňovač v můstkovém zapojení tak, jak je zakreslen v Obr. 6. Pro řízení elektrických motorů malých výkonů se používají jednofázové a pro střední a vyšší výkony se používají třífázové usměrňovače. Horní řada výkonových diod VD 01, VD 03 a VD 05 vede proud kladných půlvln napětí a spodní řada VD 02, VD 04 a VD 06 vede proud záporných půlvln napětí. Postupně, jak se mění vstupní napětí do usměrňovače, se střídají výkonové součástky ve vedení proudu. Ve vedení proudu horní řady bude vždy ta součástka, na jejíž anodě bude největší hodnota kladného napětí. Naopak ve spodní řadě bude vést ta součástka, na jejíž katodě bude nejmenší napětí. Průběh usměrněného napětí U_d třífázového neřízeného můstkového usměrňovače je na Obr. 7, který je napájen třífázovým sinusovým napětím o frekvenci 50 Hz, každá fáze má fázový posun od své sousední o 120° elektrických. V horní části Obr. 7 je zobrazen průběh usměrněného napětí U_d při napájecí frekvenci 50 Hz, který má na jednu periodu 0,02 sekundy 6 pulzů.



Obr. 7 Průběh usměrněného napětí U_d neřízeného třífázového můstkového usměrňovače – horní obrázek.
Průběhy napájení neřízeného třífázového můstkového usměrňovače – spodní obrázek

Stejnoseměrný meziobvod je zapojen mezi vstupním usměrňovačem a výstupním střídačem. Tento meziobvod obsahuje filtrační člen, který od sebe impedančně odděluje oba polovodičové měniče. Tímto impedančním oddělením je možné měnit výstupní frekvenci nezávisle na vstupní frekvenci. Rozlišujeme frekvenční měniče, které mají stejnosměrný meziobvod:

- napět'ový, obsahující kondenzátor a vyhlazovací tlumivku,
- proudový, který obsahuje pouze tlumivku.

Nejrozšířenější jsou frekvenční měniče s napět'ovým meziobvodem. Tento typ obsahuje v meziobvodu vyhlazovací tlumivku a kondenzátor s velkou kapacitou, který lze považovat za zdroj energie pro napět'ový střídač. Stejnoseměrný meziobvod vyhladí pulzující napětí U_d z výstupu usměrňovače, které je zobrazeno v horní části Obr. 7

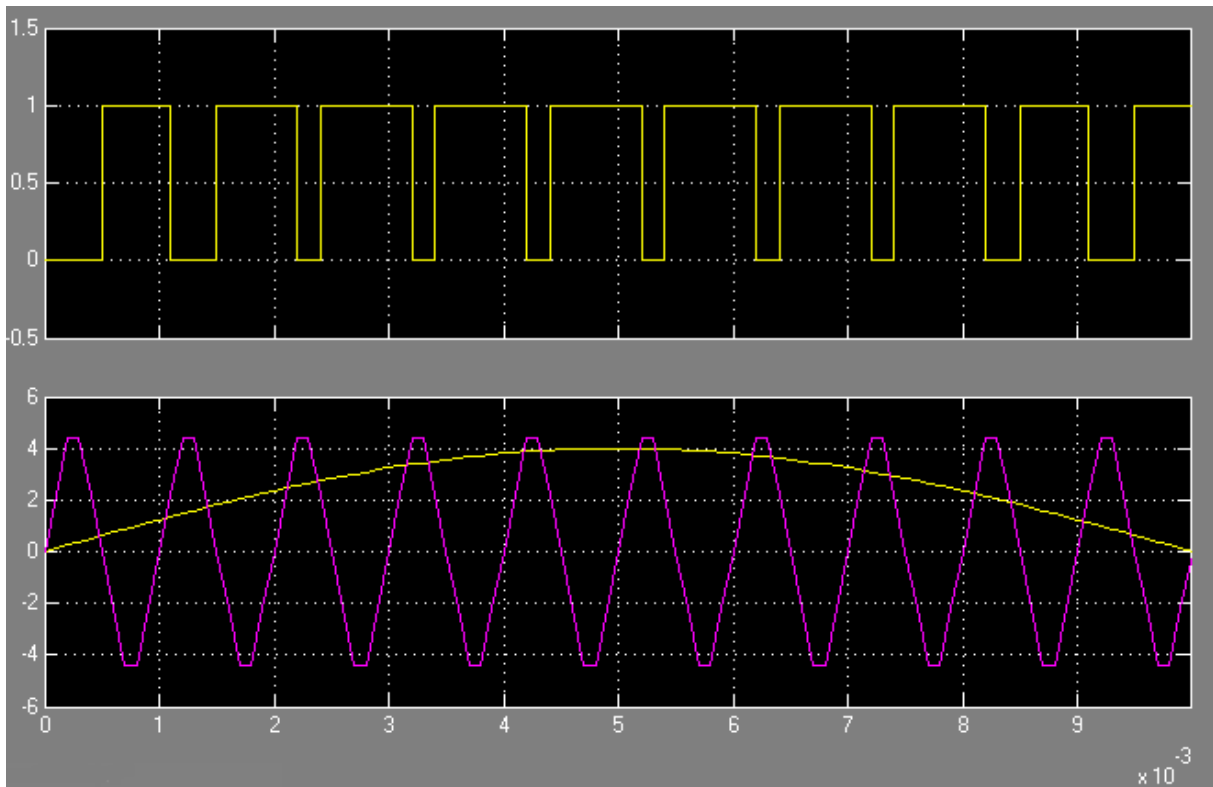
Střídač přeměňuje stejnosměrnou elektrickou energii na střídavou elektrickou energii o určité frekvenci a amplitudě napětí. Střídače můžeme rozdělit na střídače s vnější komutací, to jsou například usměrňovače, které pracují v invertorovém chodu, a dále na střídače s vlastní komutací. Poslední zmíněné střídače dělíme na:

- napěťové,
- proudové.

Dále můžeme rozlišovat, zda se jedná o jedno, tři nebo vícefázový střídač. Proudový střídač je napájen konstantním proudem a je pro něj charakteristické, že součástí napájecího stejnosměrného obvodu je zařazena tlumivka. V této práci se zaměříme na napěťový střídač, který se používá nejčastěji v obvodu frekvenčních měničů. Pro napěťový střídač je charakteristické, že v napájecím stejnosměrném obvodu je zapojen kondenzátor s velkou kapacitou, který slouží jako zdroj špičkové energie. Někdy se do stejnosměrného meziobvodu před kondenzátor zapojuje vyhlazovací tlumivka. Třífázový napěťový střídač je zobrazen na Obr. 6. Tento napěťový střídač se skládá ze šesti spínacích výkonových polovodičových součástek. Nejčastěji jsou použity bipolární tranzistory s izolovaným hradlem (IGBT - Insulated Gate Bipolar Transistor) nebo hradlem vypínatelný tyristory (GTO - Gate Turn Off). Spínací frekvence výkonových součástek se nejčastěji u měničů frekvence pohybuje od 4 kHz do 30 kHz. Se zvyšující se spínací frekvencí polovodičových součástek rostou ztráty, které se přeměňují v teplo. Je tedy třeba, aby měnič, který má pracovat s vysokou spínací frekvencí, byl dostatečně chlazen, jinak by došlo ke zničení polovodičových součástek. Naopak při nízkých spínacích frekvencích polovodičových součástek může napájený motor produkovat velké množství magnetizačního hluku. Paralelně ke každé spínací výkonové součástce je antiparalelně zapojena ochranná dioda.

K vytvoření výstupního napětí se nejčastěji používá pulsně šířková modulace (PWM – Pulse Width Modulation). Tento druh řízení je zobrazen na Obr. 8. Jedná se o nejpoužívanější metodu pro generování střídavého napětí s požadovanou frekvencí. Ve spodní části na Obr. 8 jsou zobrazeny průběhy nosného sinusového napětí (žlutý průběh) a referenčního pilovitého napětí (fialový průběh). Frekvence referenčního pilovitého napětí je v řádu jednotek až desítek kHz. Frekvence nosného sinusového napětí závisí na požadavku, jaká frekvence napětí je potřeba na výstupu frekvenčního měniče. V Obr. 8 je frekvence nosného napětí 50 Hz, to odpovídá púlperiodě 10 ms. Tyto dva průběhy napětí se porovnávají a v jejich průsečících se generuje impuls pro zapnutí nebo vypnutí výkonové polovodičové součástky. V místech, kde je nosné napětí větší než referenční napětí, je výkonová polovodičová součástka sepnuta. V opačném případě je vypnuta. Podle toho, zda je nosné napětí kladné nebo záporné se spíná buď horní řada nebo spodní řada součástek ve střídači zobrazeném na Obr. 6. Pro kladnou púlvlnu nosného napětí se spíná horní kladná řada součástek a pro zápornou púlvlnu se spíná spodní záporná řada součástek. Výstupní napětí z frekvenčního měniče je zobrazeno v horní části na Obr. 8. Jedná se o obdélkové

napětí s proměnnou šířkou, střední hodnota každého obdélníku se tak liší. Takto může být vytvořeno napájení například pro asynchronní nebo synchronní elektrický motor.



Obr. 8 Pulsně šířková modulace (PWM – Pulse Width Modulation)

Řídící elektronika obstarává řízení celého měniče. Většina frekvenčních měničů je vybavena displejem a tlačítky pro základní konfiguraci měniče, komunikačními porty, regulátory, senzory a dalšími funkcemi, které musí být řízeny řídicím počítačem. Dále je také třeba řídit spínání výkonových součástek v měniči.

4 Frekvenční měnič ATV320

Konkrétní typ frekvenčního měniče, kterým se tato práce zabývá, je ATV320U07M2C od firmy Schneider Electric, který je znázorněn na Obr. 9. Jedná se o nepřímý měnič kmitočtu, jehož obvod se skládá na vstupu z jednofázového usměrňovače, stejnosměrného napětového typu meziobvodu a na výstupu z napětového střídače, který je složen z IGBT tranzistorů.



Obr. 9 Frekvenční měnič ATV320U07M2C [7]

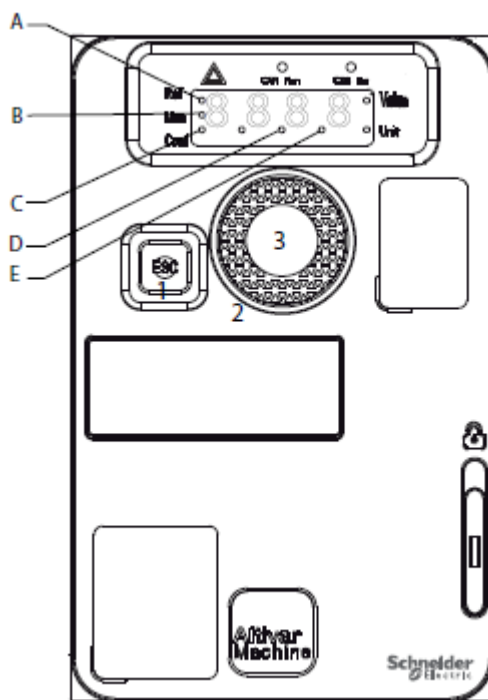
4.1 Základní technické specifikace ATV320

Tento měnič je určen pro jednofázové střídavé napájení v napětové hladině od 200 V až 240 V, s kmitočtem sítě 50 nebo 60 Hz. Konfigurace měniče umožňuje přepínání mezi těmito dvěma kmitočty. Měnič umožňuje řídit asynchronní nebo synchronní elektrické motory až do výkonu 0,75 kW. Tento měnič umožňuje řízení elektrických motorů skalárně, pomocí metody konstantního poměru U/f, popsané v kapitole 2.3, nebo pomocí vektorového řízení bez senzoru otáček. Výstupní frekvence měniče k motoru může být v rozsahu od 0,1 až 599 Hz. Spínací kmitočet IGBT tranzistorů může být nastaven v rozmezí 2 až 16 kHz. Stupeň krytí tohoto měniče je IP 20 tzn., že je chráněn proti vniknutí těles do průměru 12 mm a je bez ochrany proti vniknutí vody. Frekvenční měnič je vybaven portem pro komunikaci přes sběrnici CANopen a Modbus. Dále je možno měnič dovybavit komunikačními moduly Ethernet/IP, EtherCAT RJ45, Ethernet Powerlink, Profibus DP V1, DeviceNet nebo Profinet.[7]

Náš konkrétní typ frekvenčního měniče je vybaven třemi analogovými a sedmi digitálními vstupy, jedním analogovým výstupem a třemi digitálními výstupy, které se chovají jako spínací a rozpínací relé.[8]

Na Obr. 10 je znázorněna přední strana frekvenčního měniče ATV320. Na přední straně měniče je HMI (Human Machine Interface) displej a tlačítka pro základní ovládání frekvenčního měniče.

- Tlačítko Esc (1) slouží pro pohyb v menu zpět a pro zrušení nastavených parametrů.
- Kolečko (2) slouží pro pohyb v navigaci menu (nahoru nebo dolů) a pro nastavení parametrů (zvýšení/snížení nastavované hodnoty nebo pro výběr prvku). Může být také použito jako virtuální analogový vstup pro změnu rychlosti motoru změnou frekvence.
- Tlačítko Enter (3), které se nachází na kolečku (2), slouží pro pohyb v menu vpřed a pro potvrzení nastavených parametrů.



Obr. 10 Přední strana ATV320 [9]

HMI displej dokáže zobrazit až čtyřmístný kód nebo čtyřmístné číslo s rozlišením desetín (bod E na Obr. 10) a setin (bod D). Dále má tři signálky (bod A), (bod B) a (bod C) pro zobrazení stavu v menu, ve kterém se zrovna nacházíme.

Hlavní menu obsahuje tři základní položky, které se dále větví na další podpoložky. V menu frekvenčního měniče můžeme nastavovat vlastnosti chování měniče, parametry řízeného motoru apod. Dále můžeme sledovat aktuální veličiny frekvenčního měniče, ať už se jedná o vstupní hodnoty napětí a frekvence měniče nebo výstupní hodnoty k napájenému motoru. Dále lze také nastavovat v menu referenci na rychlost otáčení řízeného motoru. Tato práce nemá za úkol popsat všechna nastavení a vlastnosti měniče ATV320, ale pouze ty základní, které umožní uživateli jednoduché spuštění elektrického motoru. Popsání a vysvětlení všech funkcí frekvenčního měniče ATV320 lze nalézt

v dokumentu Programming Manual ATV320, který je volně dostupný na webových stránkách výrobce Schneider Electric.

V hlavním menu máme na výběr ze tří položek:

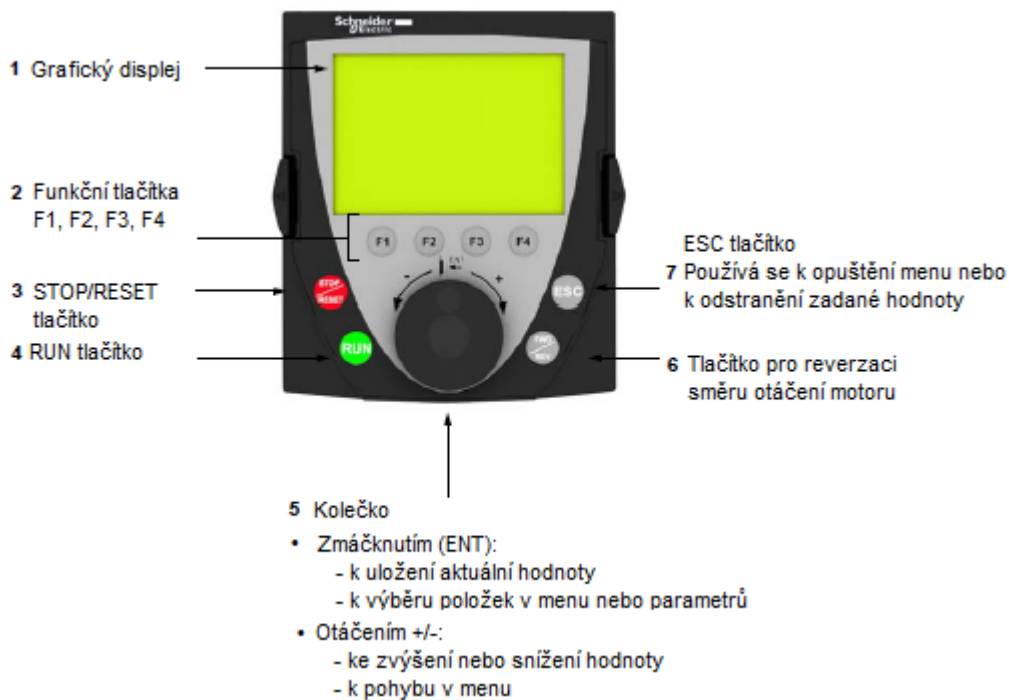
- referenční mód,
- monitorovací mód,
- konfigurační mód.

V menu referenčního módu (Reference Mode) můžeme nastavit, odkud se bude brát reference na řízení otáčivé rychlosti motoru. Na výběr máme několik možností, například můžeme nastavit referenci na kolečko, které se nachází pod HMI na přední straně měniče (Obr. 10 bod 2), nebo na vzdálený grafický HMI terminál připojený k měniči přes Modbus a nebo se bude brát reference na rychlost např. z PID regulátoru, kterým je tento typ měniče vybaven, nebo z potenciometru připojeného na analogový vstup měniče.

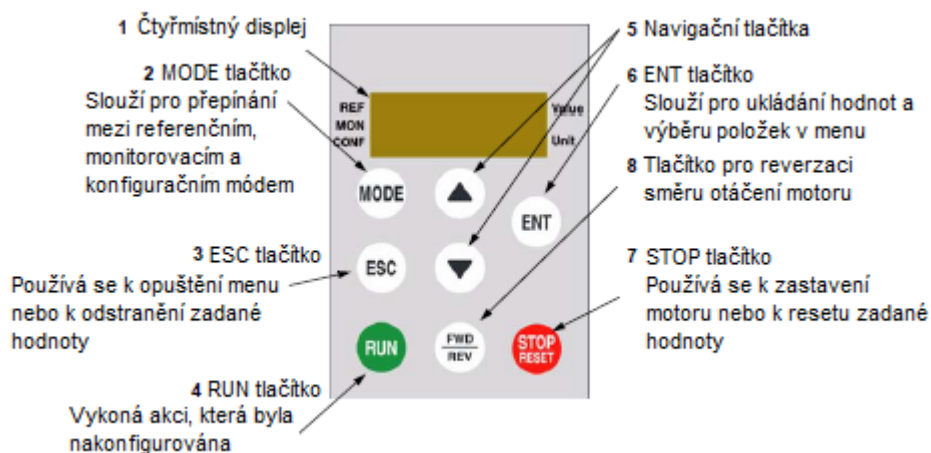
Menu monitorovacího módu (Monitoring Mode) nám poskytuje aktuální informace o měniči a napájeném motoru. Nalezneme zde informace o napájecím napětí motoru a jeho frekvenci, o proudu procházejícím motorem, o rychlosti a točivém momentu motoru, o teplotě motoru a měniče, o spínací frekvenci IGBT tranzistorů nebo o stavech připojených vstupů a výstupů.

V menu konfiguračního módu (Configuration Mode) se provádí konfigurace měniče. V tomto menu lze nalézt podpoložky, kterými lze nakonfigurovat měnič a parametry řízeného motoru.[9]

Kromě samotného HMI displeje na přední straně měniče je možno připojit přes Modbus port grafický terminál (Obr. 11) nebo vzdálený terminál s čtyřmístným displejem (Obr. 12). Tyto terminály mají tu výhodu proti samotnému HMI, který je umístěn na přední straně měniče, že dokáží lépe a přehledněji zobrazovat informace a samotná práce s nastavováním měniče je díky více tlačítkům snadnější a pohodlnější.



Obr. 11 Grafický terminál [9]



Obr. 12 Vzdálený terminál s čtyřmístným displejem [9]

4.2 Základní funkce měniče

V této kapitole si uvedeme některé základní funkce frekvenčního měniče ATV320 a jeho nastavení. Po prvním spuštění je měnič v továrním nastavení a některé jeho funkce jsou standardně přednastaveny. Základní funkce měniče, které jsou přednastaveny v továrním nastavení, jsou v Tab. 1.

Tab. 1 Tovární nastavení frekvenčního měniče [9]

Popis	Továrního nastavení	Vysvětlení
Standardní frekvence motoru (Standard motor frequency)	50 Hz	Nominální frekvence motoru, uvedená na štítku motoru
Druh řízení motoru (Motor control type)	Konstantní poměr U/f	Metoda řízení motoru, standardně nastavena řízení při konstantním poměru U/f
Zrychlení motoru (Acceleration)	3 sekundy	Rozběh motoru z klidového stavu na požadované otáčky
Zpomalení motoru (Deceleration)	3 sekundy	Doběh motoru z nastavených otáček do klidového stavu
Nízká rychlost (Low speed)	0 Hz	Nejmenší rychlost otáčení, pod kterou motor nesmí klesnout
Vysoká rychlost (High speed)	50 Hz	Nejvyšší rychlost otáčení, kterou motor nesmí přesáhnout
Tepelný proud motoru (Motor thermal current)	Závisí na nominální hodnotě proudu motoru	Tepelná ochrana motoru, musí být nastavena na nominální proud uvedený na štítku motoru
Spínací frekvence (Switching frequency)	4 kHz	Spínací frekvence IGBT tranzistorů měniče
Chod dopředu (Forward)	LI1	Přiřazení příkazu pro otáčení motoru v před, standardně přiřazen logický vstup LI1
Chod dozadu (Reverse assignent)	LI2	Přiřazení příkazu pro otáčení motoru vzad, standardně přiřazen logický vstup LI2
Typ zastavení motoru (Type of stop)	Rampa	Typ zastavení motoru je nastavenou po nadefinované rampě
Konfigurace makra (Macro configuration)	Start/Stop	Měnič má přednastaveno několik maker, standardně nastaveno makro Start/Stop, motor se rozběhne na požadované otáčky tlačítkem Start a zastaví se tlačítkem Stop

S tímto základním nastavením frekvenčního měniče lze rychle a snadno rozběhnout motor. Před tím je ale zapotřebí nastavit v měniči základní parametry řízeného motoru, které jsou uvedeny na jeho štítku.

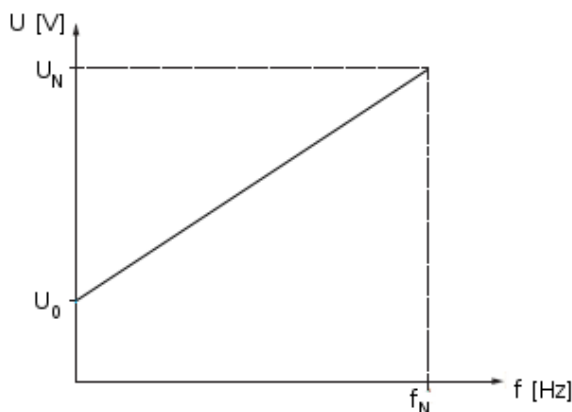
Mezi hlavní štitkové hodnoty motoru patří nominální frekvence motoru, výkon, napájecí napětí statoru, proud motoru a účinník motoru. Měnič má v sobě zabudovanou funkci pro automatické ladění (Auto tuning), která si automaticky proměří parametry motoru. Toto nastavení je přístupné v menu *CONFIGURATION* › *FULL* › *SIMPLY START*. Pokud je vše nastaveno tak, jak má být, na displeji měniče je vypsán kód *rdy* (ready - připraveno) a měnič je připraven ke spuštění řízení motoru.[9]

4.3 Automatické ladění

Frekvenční měnič má zabudovanou funkci automatického ladění, která změří odpor statorového vinutí, magnetizační proud, indukčnost motoru a časovou konstantu rotoru. Zjištěním těchto parametrů může vést k lepšímu řízení motoru a motor se například tolik nezahřívá. Funkce automatického ladění může být spuštěna pouze, pokud je motor zastaven. Doporučuje se, aby automatické ladění bylo prováděno pouze, pokud je motor nezahřátý. Teplota motoru může ovlivnit výsledek měření a může dojít k nesprávnému nastavení parametrů motoru. Před spuštěním funkce automatického ladění je nutné nastavit do frekvenčního měniče štitkové hodnoty řízeného motoru a až poté může být tato funkce spuštěna. Během automatického ladění je běžné, že se motor pomalu otáčí a vydává nepatrný hluk.

4.4 Řízení motoru při konstantním poměru U/f

Měnič je standardně přednastaven pro řízení motoru konstantním poměrem napětí a frekvence. Tento druh řízení je určen pro jednoduché aplikace, které nevyžadují vysokou dynamiku řízení, například pro pohony pásových dopravníků nebo pro automatické soustruhy, pily a obráběcí stroje v dřevozpracujícím průmyslu. Řízení konstantním poměrem napětí a frekvence je znázorněno na Obr. 13. Frekvenční měnič umožňuje nastavení tvaru křivky kolem bodu U_0 a zároveň je možno bod U_0 posouvat po ose U . Po dosažení nominální frekvence motoru se napětí dále nezvyšuje a je při zvyšující se frekvenci konstantní.



Obr. 13 Graf řízení při konstantním poměru U/f

4.5 Rozběh, doběh a rampy

Nastavením rozběhu a doběhu motoru se rozumí čas, za který se motor roztočí z nulových otáček na požadované otáčky, a u doběhu je to čas, za který motor zastaví. Čas rozběhu i doběhu je standardně přednastaven na 3 sekundy a je možnost ho nastavit v časovém intervalu od 0 až 6 sekund.

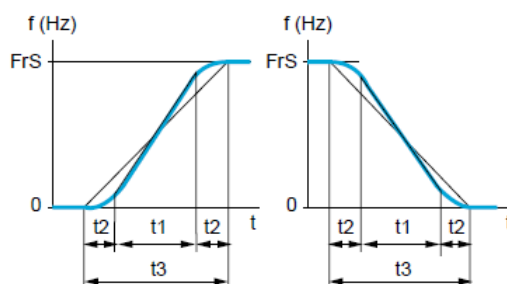
Se zrychlením a zpomalením motoru jsou svázané tzv. rampy, které určují, jakým způsobem se motor rozeběhá nebo dobíhá. Rampa je závislost frekvence na čase. Výrobce nám dává na výběr ze tří předdefinovaných ramp a možnost si přizpůsobit vlastní rampu podle požadavku na danou aplikaci.

Typy ramp:

- lineární rampa,
- S-rampa,
- U-rampa,
- uživatelská rampa.

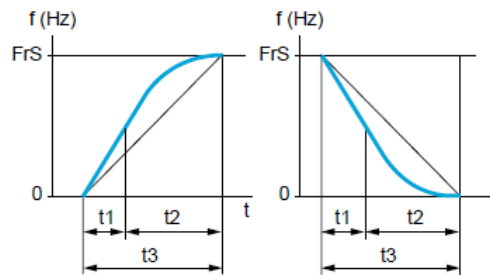
Lineární rampa je standardně přednastavena z továrního nastavení. Motor zrychluje po celou dobu s konstantním nárůstem frekvence až do požadované frekvence.

S-rampa je zobrazena na Obr. 14. Rozběh motoru kolem nulové a maximální frekvence není tak strmý, ale je pozvolnější. Hodí se například pro pohony výtahů nebo zdvihacích zařízení, kde při přetížení může na motor působit velký záběrný moment. Nastavitelným parametrem je pouze čas $t1$, čas $t2$ je pevně nastaven na hodnotu 0,4 sekundy. Celkový čas rozběhu a doběhu $t3$ je dán součtem časů $t1$ a $t2$.



Obr. 14 S-rampa [9]

U-rampa je zobrazena na Obr. 15. Nárůst frekvence je strmější než u lineární rampy, avšak kolem bodu maximální frekvence je nárůst pozvolnější. Nastavitelným parametrem je pouze čas $t1$, čas $t2$ je pevně nastaven na 1 sekundu. Celkový čas rozběhu a doběhu je dán součtem časů $t1$ a $t2$.

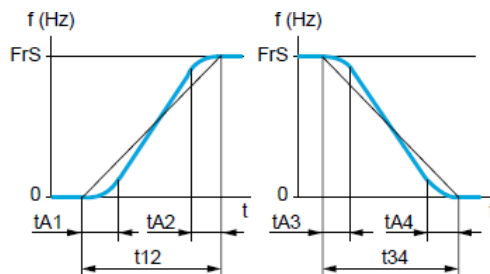


Obr. 15 U-rampa [9]

Uživatelská rampa je zobrazena na Obr. 16. Tato rampa je podobná S-rampě s tím rozdílem, že si tuto rampu můžeme libovolně nastavit podle potřeb aplikace. Čas $tA1$ můžeme nastavit od 0% do 100%, $tA2$ od 0% do (100% - $tA1$ %) a stejným způsobem můžeme nastavit i doběhovou rampu. Celkový čas rozběhu $t12$ a doběhu $t34$ motoru je dán podle vztahů uvedených níže:

$$t_{12} = ROZBĚH * \left(\frac{tA1(\%)}{100} + \frac{tA2(\%)}{100} + 1 \right) \quad (5)$$

$$t_{34} = DOBĚH * \left(\frac{tA3(\%)}{100} + \frac{tA4(\%)}{100} + 1 \right) \quad (6)$$



Obr. 16 Uživatelská rampa [9]

4.6 Funkce STOP

Funkce STOP je určena pro brzdění motoru, např. při zmáčknutí tlačítka STOP nebo pokud je tato funkce vyvolána vnější událostí. Podle toho jakým způsobem nastavíme tuto funkci, motor začne podle určitého průběhu brzdit. Na výběr je z několika možností:

- stop rampa (Ramp stop) - motor zastaví podle nastavené rampy viz. kapitola 4.5,
- volnoběh (Freewheel stop) - motor se zastaví volným doběhem, může trvat delší dobu,
- rychlé zastavení (Fast stop) - motor se zastaví v co nejkratším možném čase,
- brzdění stejnosměrným proudem (DC injection) – do statorového vinutí se přivede stejnosměrné napájení a motor je aktivně brzděn.

4.7 Spínací frekvence IGBT tranzistorů měniče

V nastavení frekvenčního měniče lze nastavit spínací frekvenci IGBT tranzistorů. S vyšší spínací frekvencí tranzistorů klesají rezonance a hluk motoru, avšak roste teplota na polovodičových součástkách vlivem zapínacích a vypínacích ztrát IGBT tranzistorů. Naopak při nízké spínací frekvenci IGBT tranzistorů motor produkuje velké množství magnetizačního hluku. Spínací frekvenci součástek je možno nastavit v rozsahu 2 až 16 kHz, standardně je z továrního nastavení přednastavena frekvence 4 kHz. Při přehřívání měniče je k dispozici funkce, která automaticky sníží spínací frekvenci tak, aby se dostatečně snížila teplota měniče a nedošlo tak k jeho poškození. Pokud teplota měniče klesne pod určitou hodnotu, měnič opět automaticky zvýší spínací frekvenci.

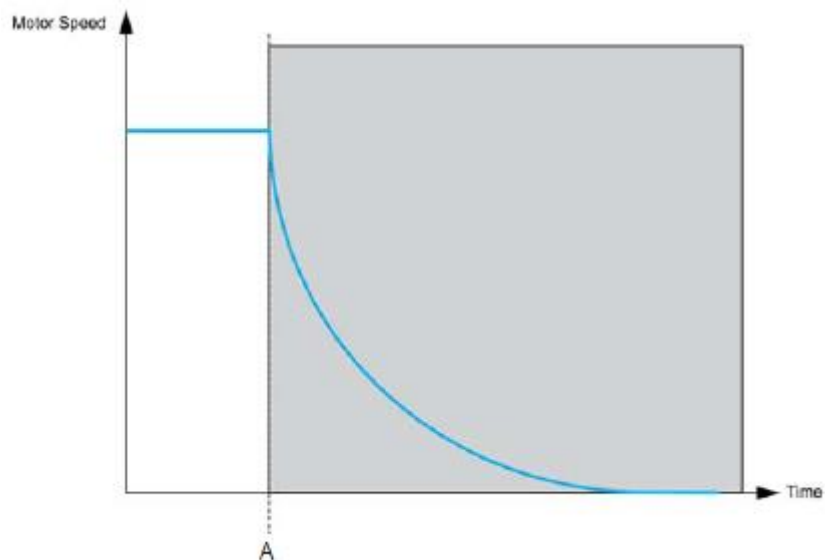
4.8 Bezpečnostní funkce měniče

Frekvenční měnič ATV320 má několik bezpečnostních funkcí, které zabraňují poškození motoru a měniče nebo pomáhají ke zlepšení bezpečnosti obsluhy. Pro příklad si uvedeme jen některé příklady bezpečnostních funkcí frekvenčního měniče ATV320:

- funkci Safe Torque Off (STO),
- funkci hlídání zámku dveří (Guard door locking),
- teplotní alarm.

Funkce STO může být vyvolána při poruše na motoru nebo na jakémkoliv jiném místě v aplikaci. Například pokud bychom uvažovali soustavu motorů, které pohánějí pásový dopravník, a na jednom z motorů vznikne havárie, na zbylých motorech napájenými frekvenčními měniči se vyvolá bezpečnostní funkce STO. Tato funkce STO neodpne frekvenční měnič od napájení, ale zablokuje napájení do motoru. Tím dojde k bezpečnému zastavení motoru a funkce tak zabraňuje neočekávanému spuštění motoru, dokud nedojde k odstranění poruchy v aplikaci nebo na motoru. Pokud dojde k vyvolání této bezpečnostní funkce, na HMI displeji měniče se zobrazí kód této funkce (*Sto*).

Na Obr. 17 je znázorněn průběh zastavení motoru při vyvolání STO funkce. V bodě A došlo k vyvolání funkce a motor začne brzdit, oblast šedé barvy znázorňuje, že je funkce STO aktivní během celé doby brzdění.



Obr. 17 Safe Torque Off funkce [10]

Funkce hlídání zámku dveří může být použita například u obráběcích strojů, uvnitř kterých pracují pohyblivé části jako vřeteno nebo pojezd hlavy vřetena, které se může pohybovat v osách x, y, z. Do tohoto prostoru musí často vstupovat operátor, který při zastaveném stroji musí například vyměnit a upnout obrobek. Do tohoto prostoru se tak vstupuje dveřmi, které jsou vybaveny senzorem, například světelnou závorou nebo jiným typem senzoru. V případě, kdy je obráběcí stroj v chodu a dojde k otevření dveří, je ze senzoru vyslán impuls, který je zpracován řídicím počítačem, a ten vyše pokyn měnič, aby odstavil potřebné motory pohánějící součásti, které mohou být nebezpečné při kontaktu s člověkem. Tato funkce tak zlepšuje bezpečnost operátora nebo jiných osob, které se mohou na pracovišti u takového stroje nacházet. Uvedený příklad je jeden z mnoha, kde je možnost použití této bezpečnostní funkce.

Další ochranou funkcí je teplotní alarm, který při překročení určité teploty vyhlásí chybu a dojde k odstavení motoru nebo měniče do doby, než teplota poklesne pod bod, kdy je opět bezpečný chod celého pohonu. Pohon je tak chráněn proti přehřátí, vlivem kterého by mohlo dojít k havárii. Tento alarm lze nastavit, jak pro motor, tak i pro měnič.

5 Komunikační protokol CANopen

CAN (Controller Area Network) je datová sběrnice, která má za úkol zajistit přenos dat a řídicích povelů mezi dvěma a více elektrickými zařízeními. Přenos dat po sběrnici se řídí stanoveným protokolem. Jedná se o sériovou datovou sběrnici s maximální teoretickou rychlostí přenosu 1 Mb/s. Patří k průmyslovým komunikačním sítím, označovaným jako provozní sběrnice, a je využívána nejčastěji pro vnitřní komunikační síť senzorů a funkčních jednotek v automobilech.[11]

CANopen je vyšší komunikační protokol založený na základě průmyslové sběrnice CAN. Jedná se o široce konfigurovatelný standardní protokol pro vestavné řídicí sítě pro stroje a zařízení používaných v mnoha odvětvích průmyslu. Původně byl CANopen vyvíjen firmou Bosch, ale později byl vývoj tohoto komunikačního protokolu předán organizaci CiA (CAN in Automation). CiA je sdružení výrobců a uživatelů sběrnice CAN. CANopen vychází z původního protokolu CAN a jeho fyzická vrstva sítě je tvořena z radičů a budičů sběrnice CAN. Tato implementace se často označuje jako vysokorychlostní CAN (High-speed CAN). CANopen umožňuje vývojáři vyhnout se řešení problémů specifických pro CAN, jako je např. správné časování zpráv. Tento problém lze například eliminovat pomocí komunikačních objektů, tedy zpráv přenášených po sběrnici CAN.[6]

CANopen má master/slave uspořádání sběrnice a obsahuje jedno zařízení typu master a jedno nebo více zařízení typu slave. Master/slave se volně z angličtiny překládá jako pán/otrok, to znamená, že zařízení typu pán, tedy master, rozkazuje svým podřízeným zařízením typu otrok neboli slave. Master zařízení v síti CANopen zajišťuje tyto funkce:

- inicializaci zařízení typu slave,
- dohlíží na všechny zařízení v síti typu slave,
- a poskytuje informace o všech zařízeních v síti typu slave.[12]

Na Obr. 18 je zobrazen model vrstev sběrnic CAN a CANopen. Sběrnice CAN zahrnuje první dvě spodní vrstvy v oranžových rámečcích:

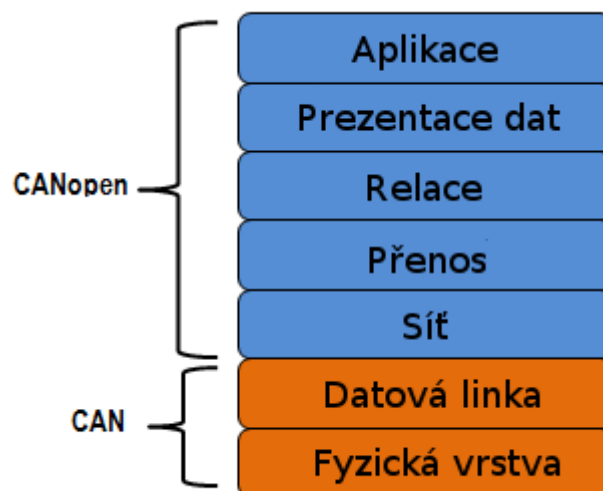
- fyzickou vrstvu (Physical layer),
- vrstvu datového spojení (Data Link layer).

Fyzická vrstva definuje použití datové linky, napětí linky a její rychlost přenosu apod. Vrstva datového spojení zahrnuje skutečnost, že zprávy se odesílají v tzv. rámcích.

CANopen pak zahrnuje zbylé vrchní vrstvy v modrých rámečcích v Obr. 18:

- síťovou (Network),
- přenosovou (Transport),
- relační (Session),
- prezentační (Presentation),
- aplikační (Application).

Síťová vrstva se stará o adresování a směrování dat, přenosová vrstva zajišťuje spolehlivost doručení vyslaných dat po sběrnici, relační vrstva zajišťuje synchronizaci sběrnice a prezentační vrstva zajišťuje kódování dat a jejich prezentaci v zařízeních. Aplikační vrstva zajišťuje konfiguraci, přenos a synchronizaci zařízení využívající komunikačního protokolu CANopen.[13]



Obr. 18 Vrstvy sběrnice CAN a CANopen [13]

Sběrnice CAN přenáší komunikační objekty (COB – Communication Object) neboli zprávy. Každému komunikačnímu objektu je přiřazen jeden nebo více identifikátorů, které definují prioritu tohoto objektu na sběrnici. Z toho můžeme usoudit, že při návrhu sítě je jednou z klíčových otázek přiřazení identifikátorů jednotlivým komunikačním objektům na sběrnici. K usnadnění návrhu jednoduchých sítí definuje protokol CANopen všechny komunikační objekty spolu s nezbytnými informacemi o vlastnostech a funkčních schopnostech jednotlivých zařízení. Komunikační objekty jsou zařazeny v tzv. slovníku objektů (Object Dictionary), který je uložen v zařízení na síti. Toto zařízení funguje jako rozhraní mezi zbylými zařízeními na síti a aplikační vrstvou.[6]

5.1 Slovník objektů

Slovník objektů (Object Dictionary) obsahuje informace o všech technologických, konfiguračních a komunikačních parametrech zařízení nacházející se v síti CANOpen. Objekty ve slovníku objektů jsou definovány šestnáctibitovým indexem a osmibitovým subindexem. Pro příklad standard definuje, že na indexu 1000h a subindexu 00h musí být uvedeno jméno zařízení. Takto může jakékoliv master zařízení přečíst index ze sítě CANOpen a identifikovat tak jednoznačně slave zařízení podle jeho jména. Některé indexy ve slovníku objektů jsou povinné definovat jako například typ zařízení, a jiné jsou nepovinné jako například verze softwaru výrobce. Slovník objektů je tak nástroj sloužící ke komunikaci mezi zařízeními v síti CANOpen.[13]

Základní datové typy použité ve slovníku objektů, jsou typu:

- boolean, který nabývá hodnoty logické 0 a 1,
- void označující data, která jsou bez hodnoty,
- celočíselný integer bez znaménka,
- celočíselný integer se znaménkem,
- float s plovoucí desetinou čárkou reprezentující racionální číslo,
- char reprezentující znak nebo číslici.

5.2 Objekty technologických dat

Mezi jedny z nejdůležitějších objektů protokolu CANOpen patří objekty pro technologická data (Process Data Objects), které jsou určeny pro časově kritickou výměnu dat. Jsou to data, která musejí být nepřetržitě monitorována během chodu aplikace. Objekty pro technologická data slouží pro přenos informací o technologických veličinách jako např. teplota, otáčky, napětí, stavy diskrétních nebo analogových vstupů a výstupů. Délka těchto objektů je osm byte a jsou vyslány v jedné zprávě. Každý typ tohoto objektu musí mít unikátní identifikátor CAN a může být vyslán pouze jedním uzlem v síti. Přiját může být libovolným počtem zařízení. Protože se jedná o časově kritická data, mají v síti vysokou prioritu. Vyslání objektu technologických dat může být vyvoláno vnitřní událostí, vnitřním časovačem, který periodicky na základě časovače vznáší požadavek na odeslání objektu, požadavky vznesenými jinými zařízeními v síti nebo přijetím tzv. synchronizační zprávy.[6]

5.3 Objekty servisních dat

Mezi další důležité objekty v komunikačním protokolu CANOpen patří objekty pro servisní data (Service Data Object). Tyto objekty přenášejí informace o konfiguračních údajích, jako je například počet analogových nebo digitálních vstupů a výstupů, konstanty PID regulátorů, měřící rozsahy snímačů apod. Používají se tedy především pro nastavení parametrů při konfiguraci zařízení nebo pro přenášení

delších zpráv. Délka servisních objektů může být libovolně velká. Objekty servisních dat mají malou prioritu, to znamená, že nejsou časově kritická. Nejčastěji se přenášejí na začátku spuštění aplikace nebo později za běhu na vyžádání jiným zařízením v síti.[6]

5.4 Objekty pro správu sítě

Mezi objekty pro správu sítě (Network Management Objects) patří například Boot-up Object, Node/Life-guarding Object, Heartbeat Object, NMT Control Object. Tyto názvy jsou ponechány v originálním znění, protože pro překlad do češtiny se zatím nenašel vhodný ekvivalent. Tyto objekty jsou tvořeny zprávou o velikosti jednoho bytu. Mají zajistit správnou konfiguraci a řízení chodu sítě.

NMT Control Object poskytuje prostředky pro řízení stavů podřízených zařízení připojených v síti.

Node/Life-guarding Object periodicky kontroluje přítomnost podřízených zařízení v síti. To dělá způsobem, že posílá dotazy podřízeným zařízením a kontroluje, zda mu na odeslané dotazy podřízené zařízení odpovídají. Podřízené zařízení odpovídá zprávou, která obsahuje informaci o jeho stavu a doplňkový bit, který mění svoji hodnotu při každém dotazu. Tento bit tak umožňuje rozpoznat, zda se jedná o odpověď na aktuální dotaz. Naopak podřízené zařízení může kontrolovat činnost nadřazeného zařízení tím, že pokud po uplynutí určité doby neobdrží dotaz na svoji činnost, tak toto podřízené zařízení může nečinnost nadřazeného zařízení oznámit nadřazenému aplikačnímu programu, který na to může zareagovat.[14]

Heartbeat Object je periodická zpráva, kterou podřízené zařízení o sobě sděluje ostatním zařízením v síti, že je v činnosti a funguje správně. Pokud tato zpráva nedorazí za určitý čas, nadřazené zařízení může zareagovat a vyvolat určitou akci, kterou se podřízené zařízení začne opět hlásit.[13]

Time Stamp Object je zpráva poskytující všem zařízením v síti informaci o aktuálním datu a času. Tato zpráva obsahuje počet milisekund od půlnoci a počet dnů od 1. ledna 1984. Na tuto vyslanou zprávu zařízení v síti neodpovídají.[14]

Emergency Object je zpráva, která je vyslána v případě, že u zařízení dojde k závažné chybě. Tato zpráva má v síti vysokou prioritu. Zpráva v sobě nese informaci o typu chyby a informaci, ve kterém zařízení vznikla.[13]

6 Programovatelný logický automat

Programovatelný logický automat neboli PLC (Programmable Logic Controller) je průmyslový počítač, který je určen pro řízení výrobních linek, strojů a technologií v různých odvětvích průmyslu. Práce PLC je řízena programem, který je uložen v jeho paměti a tento program je cyklicky vykonáván. Na začátku každého cyklu se přečtou hodnoty z digitálních a analogových vstupů, poté se vykoná hlavní program a na konci cyklu se aktualizují výstupní hodnoty automatu.

Programovatelné logické automaty rozlišujeme na:

- kompaktní,
- modulární.

Pro kompaktní typ PLC je charakteristické, že je zabudován v jednotném modulu. V tomto modulu se nachází CPU (Central Processing Unit), digitální a analogové vstupy a výstupy, karta pro podporu komunikace mezi více zařízeními a může být vybaven napájecím zdrojem pro vstupy a výstupy.

U modulárního PLC jsou jednotlivé komponenty rozděleny do několika modulů. Podle potřeby aplikace jsou osazeny určitým počtem modulů pro vstupy a výstupy, moduly pro komunikaci nebo speciálními moduly pro řízení elektrických pohonů. U modulárních PLC je tak možné vhodně sestavit a navrhnout systém, který je ideální pro danou aplikaci.[14]

6.1 Programovatelný logický automat TM241CEC24T

Programovatelný logický automat Modicom M241 (TM241CEC24T) od firmy Schneider Electric je použit v této bakalářské práci pro řízení frekvenčního měniče ATV320 po komunikační sběrnici CANopen. V této kapitole si popíšeme některé jeho základní vlastnosti.

PLC M241 je určen pro napájení stejnosměrným napětím o velikosti 24 V. Je vybaven 24 digitálními vstupy a výstupy. Z toho je 14 digitálních vstupů a 10 tranzistorových výstupů. Napájení vstupů a výstupů musí být z externího stejnosměrného zdroje 24 V. PLC má Ethernetový port pro komunikaci mezi PC a PLC, komunikační rozhraní MODBUS TCP klient, FTP klient/server. Pro nás je nejzajímavější komunikační protokol CANopen, kterým budeme komunikovat mezi PLC a frekvenčním měničem ATV320. Dále je PLC vybaven webovým klientem, který umožňuje se k PLC připojit vzdáleně pomocí prohlížeče, což významně usnadňuje servis celé aplikace, čímž se ušetří výjezd servisního technika. Na přední straně PLC M241 jsou signálky pro zobrazení statusu automatu, ve kterém se aktuálně nachází. Signalizují například, zda je PLC v chodu, stavy vstupů a výstupů, jestli je ustálená komunikace přes ethernet mezi PC a PLC nebo přes CANopen mezi PLC a ostatními zařízeními. Dále jsou na přední straně signálky pro zobrazení stavů vstupů a výstupů. Pokud je jeden z některých vstupů či výstupů aktivní, rozsvítí se zároveň signálka pro daný vstup nebo výstup.[16]

Na Obr. 19 je zobrazeno PLC Modicom 241. Obrázek neodpovídá přesně PLC, které je použito v této bakalářské práci, ale je to stejný typ, který se liší od našeho typu pouze tím, že má více vstupů a výstupů.



Obr. 19 PLC M241 [17]

7 Praktická část

V této části práce je popsáno zapojení sestavy frekvenčního měniče ATV320, PLC Modicom 241 a dalších zařízení. Dále je zde popsáno propojení měniče ATV320 a PLC pomocí komunikační sběrnice CANopen a popis sestavení ukázkového programu ve vývojovém prostředí SoMachine.

7.1 Zapojení sestavy

Zapojení celé sestavy bylo provedeno ze zařízení a přístrojů zapůjčených od firmy Schneider Electric. Schémata zapojení sestavy jsou uvedeny v příloze na Obr. 29 a Obr. 30.

Motor pro řízení z frekvenčního měniče ATV320 byl použit třífázový asynchronní motor v zapojení do trojúhelníku. Obrázek použitého asynchronního motoru je uveden v příloze na Obr. 29 a štítkové hodnoty jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2 Štítkové hodnoty asynchronního motoru

Napájecí kmitočet:	50 Hz
Jmenovité napětí:	230 V
Jmenovitý proud:	1,82 A
Jmenovitý výkon:	370 W
Jmenovité otáčky:	1370 ot*min ⁻¹
Účinník:	0,78

Dále byl vyroben panel se signálkami a tlačítky, kterými je možné ovládat motor. Tlačítka slouží pro základní ovládání řízeného motoru, jako je spuštění, zastavení nebo řízení otáček. Funkce tlačítek na ovládacím panelu je vysvětlena v Tab. 3. Nad každým tlačítkem je signálka, která signalizuje, zda je vybraná funkce aktivní. Prvky ovládacího panelu jsou připojeny na digitální vstupy a výstupy programovatelného logického automatu Modicom 241.

Tab. 3 Vysvětlení funkce tlačítek na ovládacím panelu

START	Spuštění programu
STOP	Zastavení programu
FAULT RESET	Pokud vznikne v ukázkovém programu chyba, stisknutím tohoto tlačítka dojde k odstranění této chyby a program může dále fungovat
FORWARD	Otáčení motoru vpřed
REVERSE	Otáčení motoru vzad
SPEED -	Snížení rychlosti otáčení motoru
SPEED +	Zvýšení rychlosti otáčení motoru

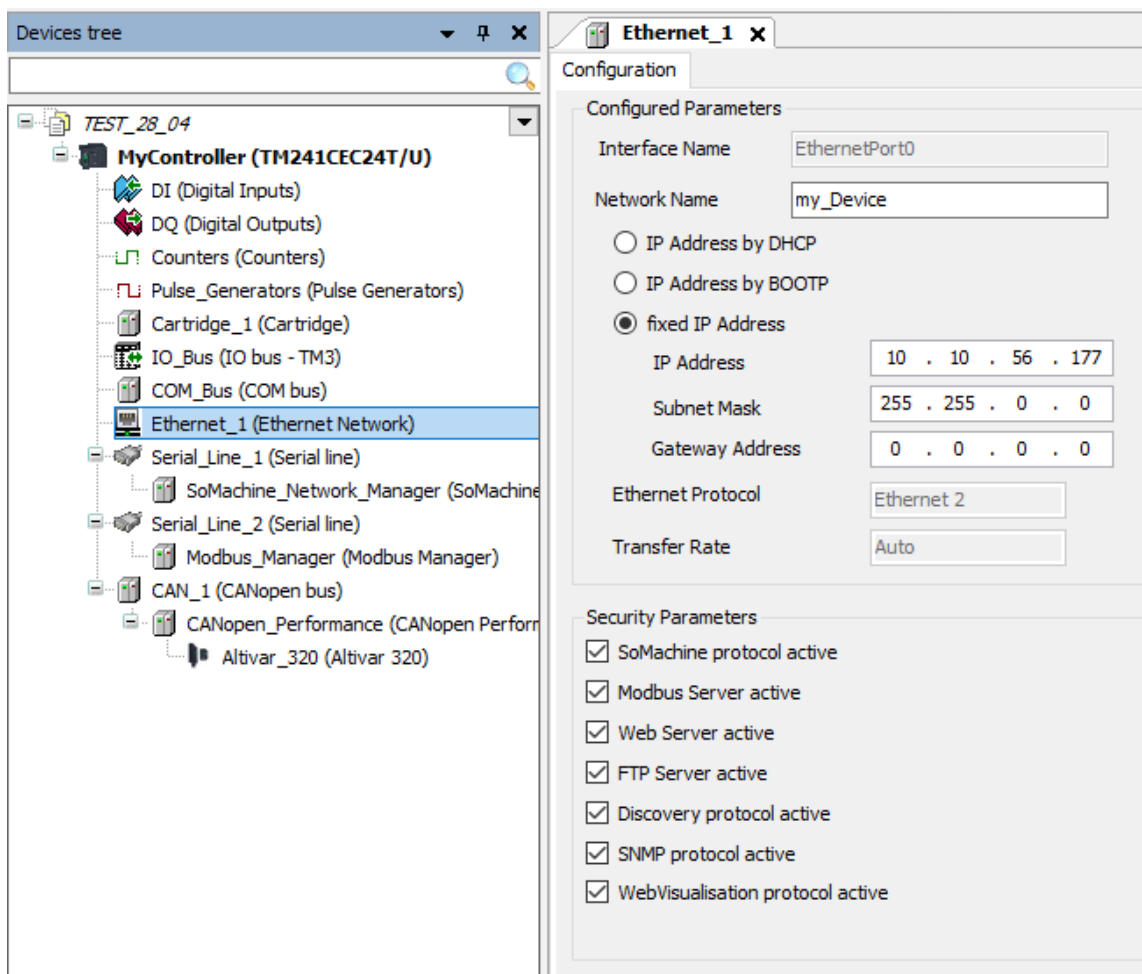
7.1 Vývojové prostředí SoMachine

Pro programování programovatelného logického automatu bylo použito vývojové prostředí SoMachine od firmy Schneider Electric, verze 4.2. Tento software je volně dostupný pro stáhnutí na adrese:

http://www2.schneider-electric.cz/software/?utm_source=SE_CZ&utm_medium=link&utm_campaign=2013-08-SE_CZ

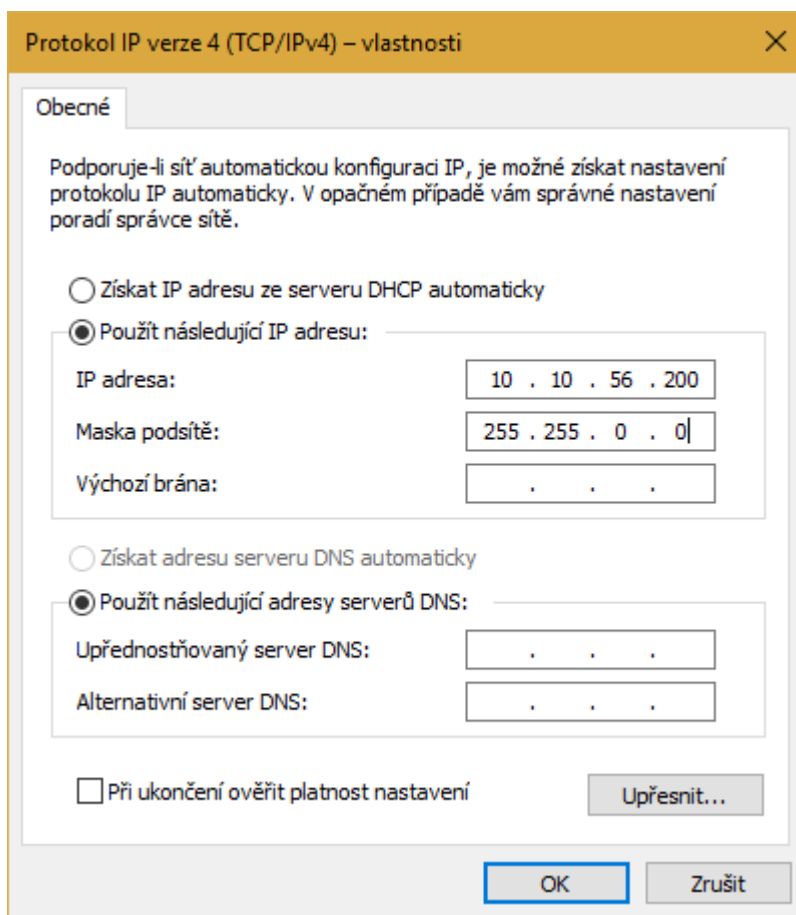
7.1 Komunikace mezi PLC a PC

Komunikace mezi počítačem a programovatelný logický automatem se uskutečňuje pomocí sítě Ethernet. Pro správnou komunikaci mezi těmito dvěma zařízeními je třeba v programu SoMachine správně nakonfigurovat síťová nastavení. V seznamu zařízení vybereme položku *Ethernet_1* (*Ethernet Network*) a otevře se okno, které je zobrazeno v Obr. 20. V tomto okně je třeba kliknout na políčko pevné IP adresy (*fixed Ip Address*) a nastavit IP adresu (*IP Address*), masku podsítě (*Subnet Mask*) a výchozí bránu (*Gateway Address*), tak jak je to v Obr. 20.



Obr. 20 Nastavení komunikace mezi PC a PLC v SoMachine

Dále je třeba v nastavení sítě počítače nastavit protokol IPv4, tak jak je znázorněno na Obr. 21.



Obr. 21 Nastavení sítě počítače

Po tomto nastavení by měla komunikace mezi počítačem a programovatelným automatem fungovat správně.

7.2 Zapojení komunikace CANopen mezi PLC a ATV320

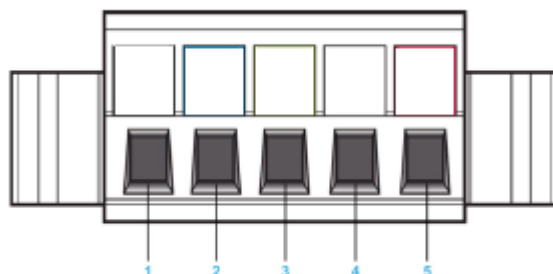
Komunikace mezi programovatelným logickým automatem Modicom 241 a frekvenčním měničem ATV320 se uskutečňuje pomocí komunikačního protokolu CANopen. Pro tuto komunikaci se používá stíněný pětižilový kabel. Zapojení jak na straně frekvenčního měniče, tak na straně PLC je znázorněno na Obr. 22 a Obr. 23.

Na Obr. 22 je znázorněn konektor PLC pro zapojení komunikace CANopen. Každá zdířka konektoru je v tomto obrázku označena číslem. V Tab. 4 jsou uvedeny čísla zdířek konektoru a označení žil kabelu, které se do nich připojují.

Tab. 4 Zdířky konektoru pro připojení komunikace CANopen

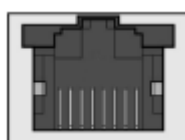
1	CAN_GRD (černý)
2	CAN_L (modrý)
3	CAN_SHLD (-)
4	CAN_H (bílý)
5	CAN_V+ (červený)

Pro komunikaci jsou využity pouze konektory označené CAN_L, CAN_H a CAN_GRD. Konektor označený CAN_SHLD slouží pro stínění komunikace. Konektor označený CAN_V+ slouží pro připojení externího stejnosměrného napájení, ale ten v naší práci není zapojen.



Obr. 22 CANopen konektor na PLC [18]

Na straně měniče ATV320 je komunikace přes CANopen zapojena pomocí konektoru RJ45, který se nachází na přední straně měniče. Konektor RJ45 je zobrazen na Obr. 23.



Obr. 23 CANopen konektor RJ45 na měniči ATV320 [18]

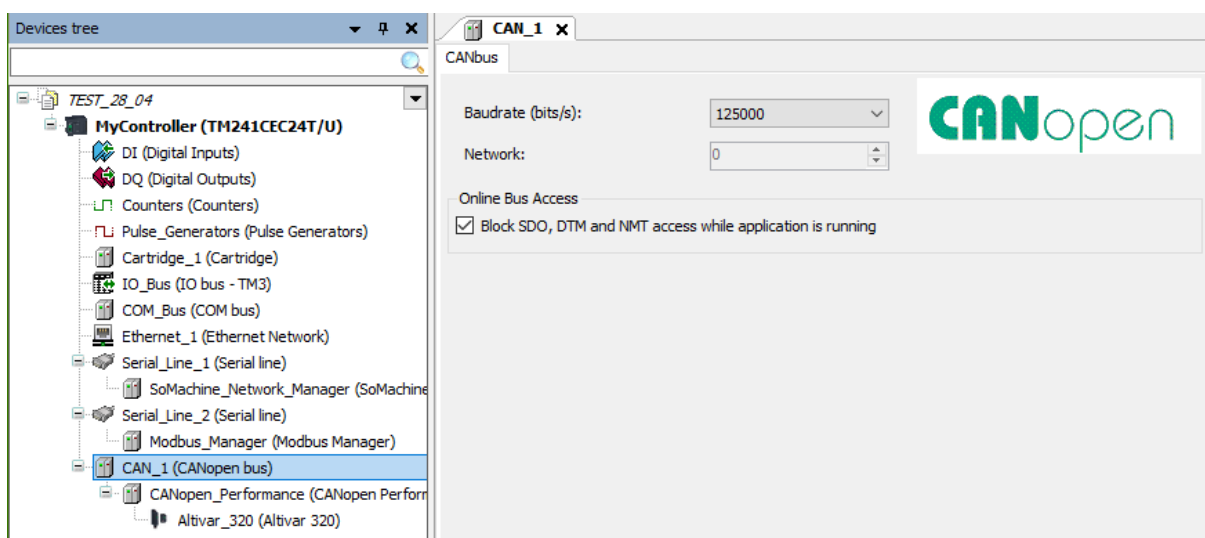
7.3 Nastavení komunikace CANopen

Potřebná nastavení provádíme na frekvenčním měniči a programovatelném logickém automatu. V menu frekvenčního měniče je třeba vybrat položku (*Config. menu*), dále (*Communication*) a (*CANopen*). V tomto podmenu se nastavuje adresa CANopen zařízení (*CANopen Address*) a přenosová rychlost (*CANopen Baudrate*). Dále v tomto podmenu můžeme najít položku chybového hlášení komunikace CANopen (*CANopen Error*). Hodnoty pro správné nastavení jsou uvedené v Tab. 5.

Tab. 5 Nastavení komunikace CANopen frekvenčního měniče ATV320

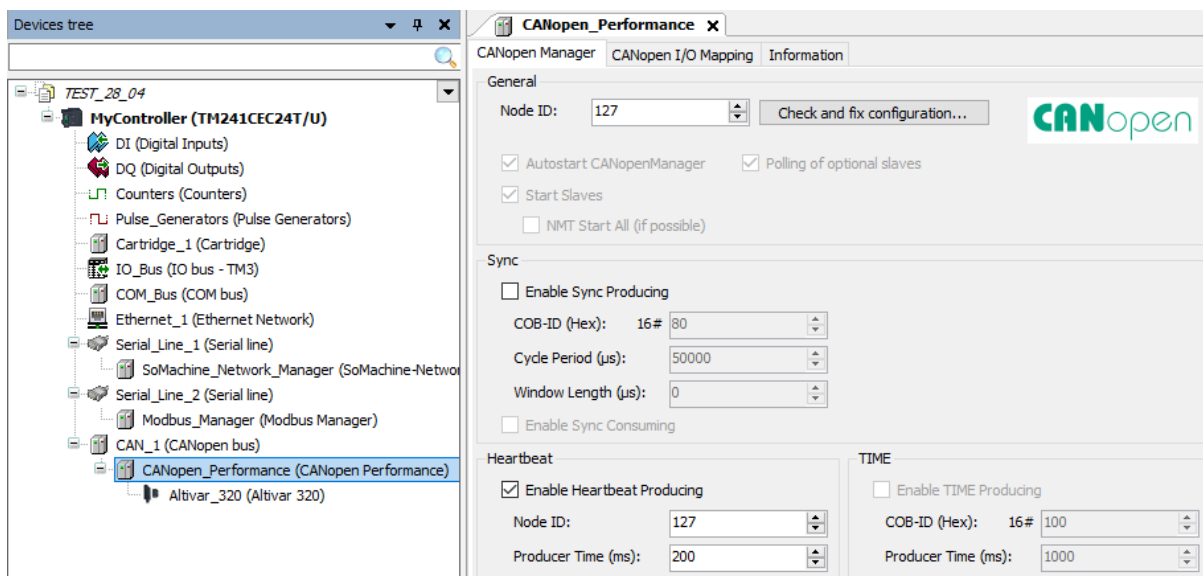
CANopen Address:	2
CANopen Baudrate:	125 000 bits/s
CANopen Error:	0

Nastavení pro PLC se provádí v programu SoMachine. V seznamu zařízení vybereme položku *CAN_1 (CANopen bus)* a nastavíme přenosovou rychlost stejnou jako u frekvenčního měniče v Tab. 5, tak jak je znázorněno v Obr. 24.



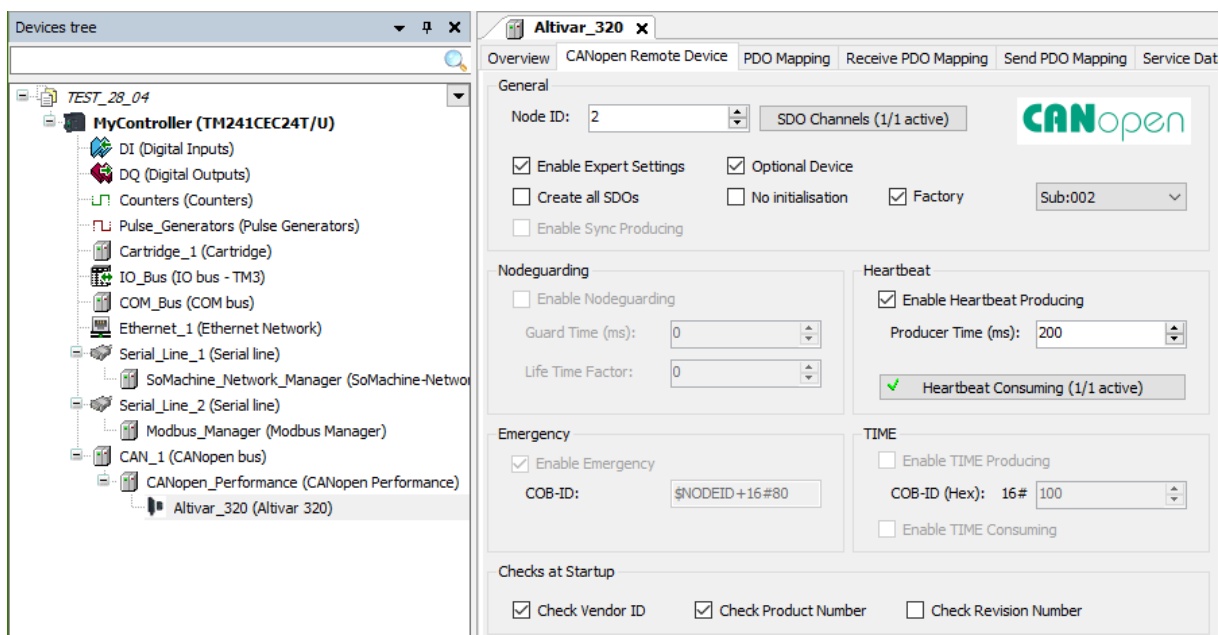
Obr. 24 Nastavení přenosové rychlosti v programu SoMachine

Dále je třeba v seznamu zařízení vybrat položku *CANopen_Performance (CANopen Performance)* a v podokně (*CANopen Manager*) nastavit adresu master zařízení (*Node ID*) na hodnotu 127, tak jak je znázorněno v Obr. 25.



Obr. 25 Nastavení CANopen master zařízení v programu SoMachine

Další krok pro úspěšné nastavení komunikace je zobrazen v Obr. 26. V seznamu zařízení musíme vybrat položku *Altivar_320 (Altivar 320)* a dále podokno (*CANopen Remote Device*). V tomto podokně nastavujeme adresu slave zařízení (*Node ID*), tedy adresu frekvenčního měniče ATV320 v síti CANopen, kterou nastavíme podle Tab. 5.



Obr. 26 Nastavení CANopen slave zařízení v programu SoMachine

Nastavujeme pouze parametry, které byly popsány v této podkapitole. Zbylé parametry můžeme ponechat ve stavu, v jakém jsme je měli v programu standardně nastavené. V případě, že je nastavení komunikace v pořádku, svítí na frekvenčním měniči nad displejem zelená signálka s označením

CANopen a v menu nastavení komunikace CANopen má položka chybového hlášení (*CANopen Error*) hodnotu 0.

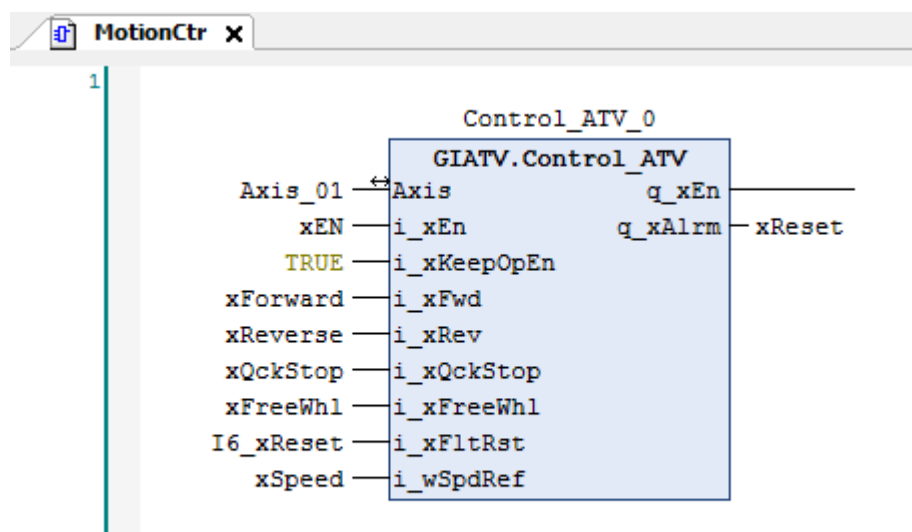
7.4 Program v SoMachine pro ovládání měniče ATV320

Vývojové prostředí SoMachine verze 4.2 nám umožňuje vytvořit program pomocí několika způsobů, které lze navzájem kombinovat:

- Continuous Function Chart
- Function Block Diagram
- Instruction List
- Ladder Logic Diagram
- Sequential Function Chart
- Structured Text.

Náš program, který řídí frekvenční měnič ATV320, byl vytvořen pomocí funkčního bloku (Function Block Diagram), ladder diagramu (Ladder Logic Diagram) a strukturovaného textu (Structured Text).

Pro řízení frekvenčního měniče ATV320 jsme použili funkční blok *Control_ATV* z knihoven SoMachine. Tento funkční blok umožňuje rozběhnout motor na požadované otáčky v jednom nebo opačném směru a umožňuje motor zastavit pomocí rychlého zastavení "Quick Stop" nebo volnoběhu "Free Wheel". Nastavení funkčního bloku *Control_ATV* je zobrazeno na Obr. 27.



Obr. 27 Funkční blok *Control_ATV*

Na Obr. 27 jsou na levé straně funkčního bloku vstupy, ke kterým jsou přiřazené programové proměnné a na druhé straně jsou výstupy, které po komunikační sběrnici CANopen řídí frekvenční

měníč ATV320. V příloze v Tab. 8 jsou vysvětleny jednotlivé vstupy a výstupy funkčního bloku *Control_ATV*. Ke každému vstupu funkčního bloku jsou přiřazeny proměnné typu BOOL, které jsou inicializovány do stavů TRUE a FALSE pomocí tlačítek z ovládacího panelu, které jsou připojeny ke vstupům a výstupům programovatelného logického automatu.

V Tab. 6 jsou uvedeny kroky, jakými musí být jednotlivé vstupy inicializovány, aby se motor úspěšně rozběhl. Při spuštění programu jsou všechny vstupy inicializovány na hodnotu FALSE.

Tab. 6 Nastavení vstupů funkčního bloku *Control_ATV*

1	Deaktivace brzdění "Free Wheel", nastavení <i>i_xFreeWhl</i> na hodnotu TRUE.
2	Deaktivace brzdění "Quick Stop", nastavení <i>i_xQckStop</i> na hodnotu TRUE.
3	Aktivace funkčního bloku "Control_ATV", nastavení <i>i_xEn</i> na hodnotu TRUE.
4	Nastavení rychlosti otáčení motoru zadáním hodnoty na vstup <i>i_wSpdRef</i> , v našem programu je tento vstup přednastaven na 400 otáček za minutu.
5	Pro otáčení motoru vpřed nebo vzad, nastavení Set <i>i_xFwd</i> nebo <i>i_xRev</i> na hodnotu TRUE.

Pokud je třeba motor zastavit, musí se aktivovat brzdění motoru nastavením *i_xFreeWhl* nebo *i_xQckStop* na hodnotu FALSE. Pro opětovný rozběh motoru je třeba nastavit vstupy funkčního bloku *Control_ATV* na hodnoty FALSE a provést postupně kroky, které jsou popsány v Tab. 6.

Nastavování jednotlivých vstupů funkčního bloku v našem programu probíhá pomocí tlačítek ovládacího panelu, kterými lze ovládat asynchronní motor napájený z frekvenčního měniče ATV320. Signálky na ovládacím panelu nám ukazují, v jakém stavu se sestavený program nachází. V Tab. 7 je vysvětleno, jak funguje ovládání motoru pomocí tlačítek ovládacího panelu.

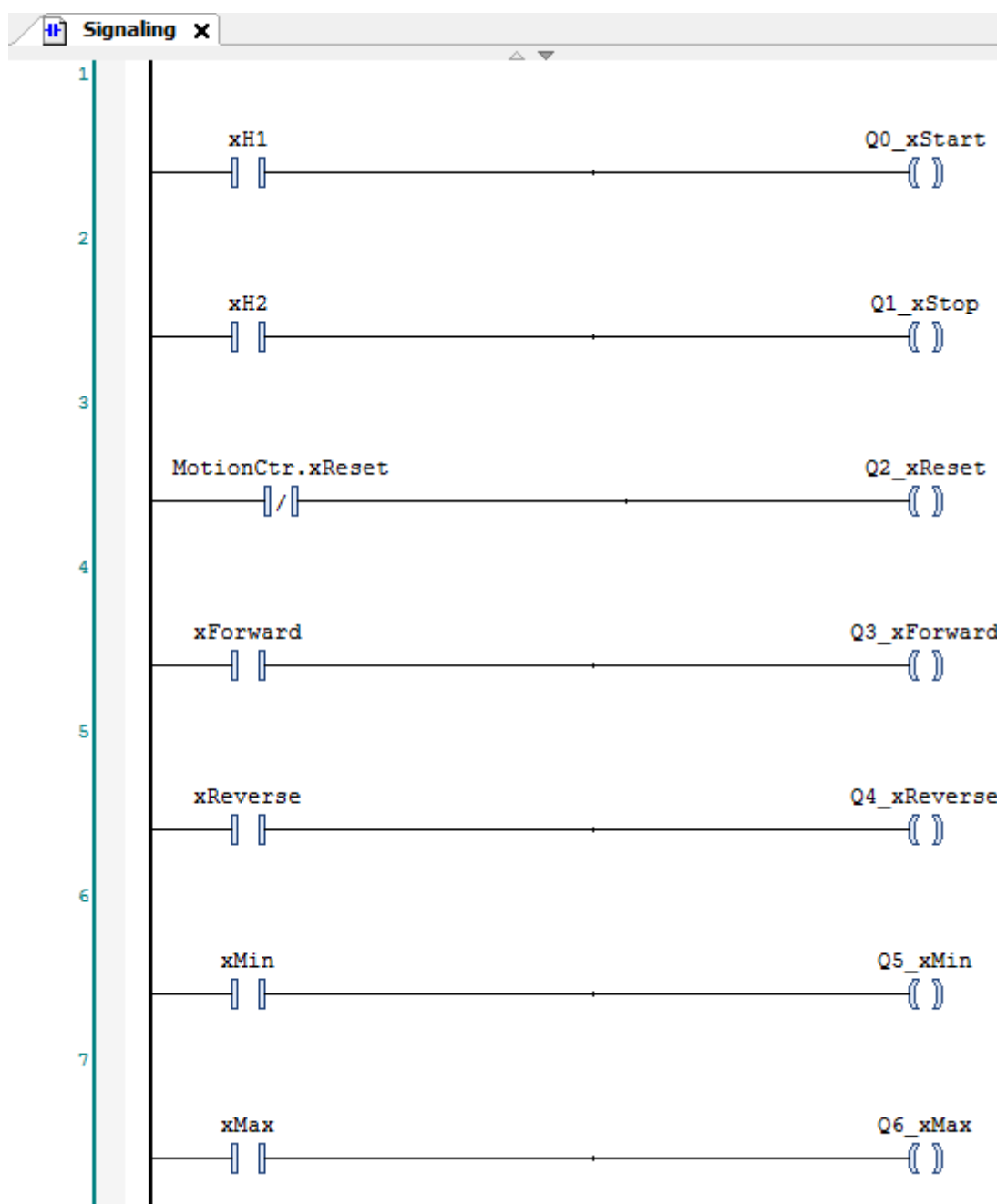
Tab. 7 Ovládání asynchronního motoru pomocí tlačítek ovládacího panelu

Tlačítko	Signálka	Akce
START	H1	Nastaví se proměnné funkčního bloku podle Tab. 6, na panelu svítí signálky H1 a H3.
STOP	H2	Zastavení motoru, aktivace brzdy "Quick Stop", vstup funkčního bloku <code>i_xQckStop</code> se nastaví na hodnotu FALSE, na panelu se rozsvítí červená signálka H2.
FAULT RESET	H3	Pokud svítí modrá signálka H3, program je v chodu. Pokud tato signálka zhasne, v programu došlo k chybě, motor je zastaven. K opětovnému spuštění programu je třeba zmáčknutím tlačítka FAULT RESET vynulovat vzniklé chyby.
FORWARD REVERSE	H4 H5	Stisknutím tlačítka FORWARD nebo REVERSE se nastaví <code>i_xFwd</code> nebo <code>i_xRev</code> na hodnotu TRUE, motor se roztočí ve směru, jaký byl zvolen. Zelené signálky H4 a H5 signalizují směr otáčení motoru.
SPEED – SPEED +	H6 H7	Tlačítka SPEED – a SPEED + se snižuje a zvyšuje rychlost otáčení motoru. Pokud je signálka H6 rozsvícená rychlost otáčení je nastavena na nejnižší hodnotu. Naopak H7 signalizuje, že rychlost otáčení je nastavena na nejvyšší dovolenou hodnotu.

V situaci, kdy se motor otáčí v jednom smyslu a dojde ke stisknutí tlačítka pro změnu smyslu otáčení, je tato akce programem ignorována. Pro změnu smyslu otáčení motoru je třeba motor zastavit tlačítkem STOP, poté stisknout tlačítko START a vybrat požadovaný smysl otáčení.

Tlačítka SPEED – a SPEED + lze měnit rychlost otáčení motoru na hodnoty 400, 800 a 1000 otáček za minutu. Standardně je při stisku tlačítka START nastavena rychlost otáčení motoru na 400 otáček za minutu. Otáčky lze nastavovat, i když se motor neotáčí, ale musí být předtím stisknuto tlačítko START. Program je sestaven tak, aby nebylo možné přesáhnout hodnoty nad 1000 otáček za minutu nebo naopak pod 400 otáček za minutu.

Na Obr. 28 je zobrazen program vytvořený pomocí ladder diagramu. Tento program nastavuje výstupy programovatelného logického automatu, které jsou připojeny k signálkám ovládacího panelu, na hodnoty TRUE nebo FALSE podle stavů, ve kterých se program nachází.



Obr. 28 Ladder diagram pro signalizaci stavů programu

Vytvořený a okomentovaný program v prostředí SoMachine lze nalézt na kompaktním disku přiloženém k této práci. Program se nachází v adresáři:

BP_MARKVART_2017:\SoMachine_program\BP_MARKVART_2017.project

Dále je na kompaktním disku uložena videonahrávka, ve které je ukázáno, jakým způsobem se řídí asynchronní motor napájený z frekvenčního měniče ATV320 pomocí ovládacího panelu připojenému k PLC M241. Videonahrávka se nachází v adresáři:

BP_MARKVART_2017:\Ukazkove_video\Ukazkove_video.mp4

8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat vlastnosti frekvenčního měniče ATV320 od firmy Schneider Electric, analyzovat vlastnosti komunikační sběrnice CANopen, provést propojení měniče s PLC pomocí sběrnice CANopen a sestavit ukázkový program pro demonstraci vlastností měniče ATV320.

8.1 Srovnání cílů práce s výsledky

1. Popsat obecně frekvenční měnič, asynchronní motor a programovatelný logický automat

V práci byly popsány základní vlastnosti frekvenčních měničů, asynchronních motorů a programovatelných logických automatů.

2. Analyzovat vlastnosti frekvenčního měniče ATV320 firmy Schneider Electric

V této části práce jsme se blíže seznámili s vlastnostmi frekvenčního měniče ATV320. Zaměřili jsme se na nejdůležitější vlastnosti a nastavení měniče ATV320. Popsali jsme si jeho některé základní funkce, jako například bezpečnostní funkce, rampy, automatické ladění, nastavení spínací frekvence IGBT tranzistorů apod.

3. Analyzovat vlastnosti komunikační sběrnice CANopen

V této části práce jsme si analyzovali základní vlastnosti komunikační sběrnice CANopen a popsali jsme si některé z jeho nejdůležitějších komunikačních objektů.

4. Provést propojení frekvenčního měniče s PLC pomocí komunikační sběrnice CANopen a sestavit ukázkový program pro demonstraci vlastností frekvenčního měniče ATV320

Provedli jsme zapojení celé sestavy s frekvenčním měničem ATV320, asynchronním motorem, programovatelným logickým automatem M241 a dalšími přístroji. Dále jsme úspěšně nastavili komunikaci CANopen mezi měničem ATV320 a PLC a ve vývojovém prostředí SoMachine jsme si vytvořili ukázkový program. Vytvořený program nám umožňoval řídit asynchronní motor z frekvenčního měniče pomocí tlačítek ovládacího panelu, který byl připojen k diskretním vstupům a výstupům PLC M241.

Podářilo se nám splnit všechny body, které jsme si stanovili v kapitole 1.1 podle zadání bakalářské práce. Videonahrávka spolu s vytvořeným programem je uložena na kompaktním disku přiloženém k této práci.

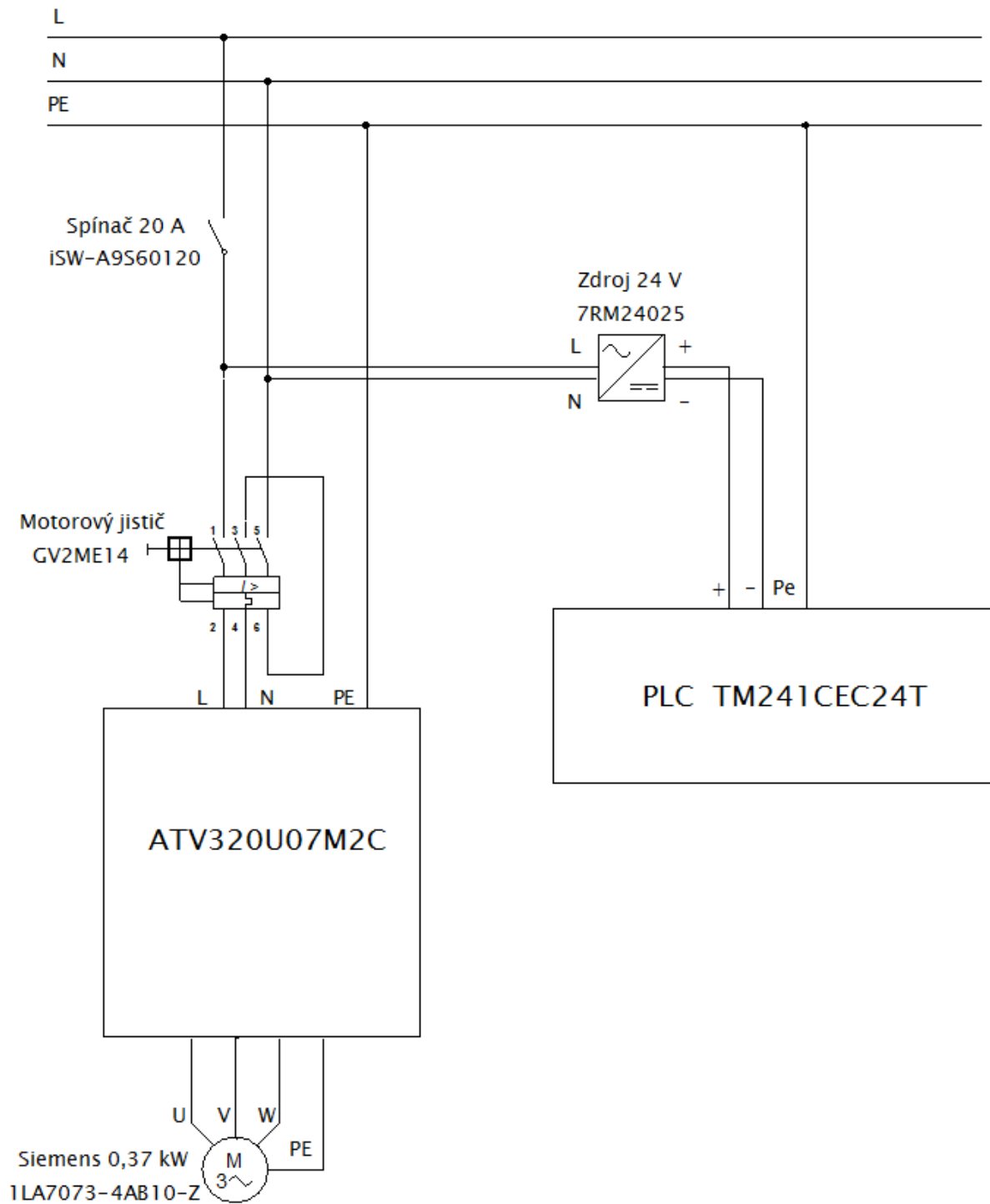
9 Použitá literatura

- [1] VOŽENÍLEK, P., NOVOTNÝ, V., MINDL, P., Elektromechanické měniče, dotisk 2. vyd., České vysoké učení technické v Praze, nakladatelství ČVUT, 2015
- [2] PAVELKA, J., ČEŘOVSKÝ, Z., Výkonová elektronika, České vysoké učení technické v Praze, nakladatelství ČVUT, 2000
- [3] KOBRLE, P., PAVELKA, J., Elektrické pohony a jejich řízení, 3. přepracované vyd., České vysoké učení technické v Praze, nakladatelství ČVUT, 2016
- [4] Construction of Induction Motor [online], 05/2017, Dostupné z WWW:
<http://circuitglobe.com/construction-of-induction-motor.html/>
- [5] Trojfázový indukční motor – řízení otáček [online], 05/2017, Dostupné z WWW:
<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/785>
- [6] VACEK, František, CANopen – vyšší komunikační protokol pro vestavné sítě [online], 05/2017, Dostupné z WWW:
http://automa.cz/cz/casopis-clanky/canopen-vyssi-komunikacni-protokol-pro-vestavne-site-2004_04_32279_854/
- [7] Schneider Electric, Variable speed drives ATV320U07M2C [online], 05/2017, Dostupné z WWW:
<http://www.schneider-electric.co.uk/en/product/ATV320U07M2C/variable-speed-drive-atv320---0.75kw---200...240v---1-phase---compact/>
- [8] Schneider Electric, Altivar Machine ATV320 Variable Speed Drives for Asynchronous and Synchronous Motors – Installation Manual [online], 09/2016, Dostupné z WWW:
<http://www.schneider-electric.com/en/download/document/NVE41289/>
- [9] Schneider Electric, Altivar Machine ATV320 Variable Speed Drives for Asynchronous and Synchronous Motors – Programming Manual [online], 03/2016, Dostupné z WWW:
<http://www.schneider-electric.com/en/download/document/NVE41295/>
- [10] Schneider Electric, Altivar Machine ATV320 Variable Speed Drives for Asynchronous and Synchronous Motors – Safety Functions Manual [online], 03/2016, Dostupné z WWW:
<http://www.schneider-electric.com/en/download/document/NVE50467/>
- [11] Wikipedia, CAN bus [online], 05/2017, Dostupné z WWW:
https://cs.wikipedia.org/wiki/CAN_bus/

- [12] Schneider Electric, CANopen – Hardware Setup Manual [online], 03/2016, Dostupné z WWW:
<http://www.schneider-electric.com/en/download/document/NVE50467/>
- [13] The Basic of CANopen [online], 21.8. 2013, Dostupné z WWW:
<http://www.ni.com/white-paper/14162/en>
- [14] Co je CANopen a jak na něj [online], 20.3. 2006, Dostupné z WWW:
<http://vyvoj.hw.cz/produkty/co-je-canopen-a-jak-na-nej.html>
- [15] PLC [online], 05/2017, Dostupné z WWW:
<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/965>
- [16] Schneider Electric, Product data sheet – Characteristics of TM241CEC24T [online], 04/2017, Dostupné z WWW:
<http://www.schneider-electric.us/en/product/TM241CEC24T/controller-m241-24-io-transistor-pnp-ethernet-can-master/>
- [17] Schneider Electric, Modicon M241 Logic Controller – Hardware Guide [online], 04/2014, Dostupné z WWW:
http://www.eschneider.pl/download/04%20Automatyka%20przemyslowa/PLC%20sterowniki/M241_PLC_Modicon-Hardware_Guide_2014ENG.pdf
- [18] Schneider Electric, Altivar Machine ATV320 Variable Speed Drives for Asynchronous and Synchronous Motors – CANopen Manual [online], 04/2016, Dostupné z WWW:
<http://www.schneider-electric.com/en/download/document/NVE41309/>

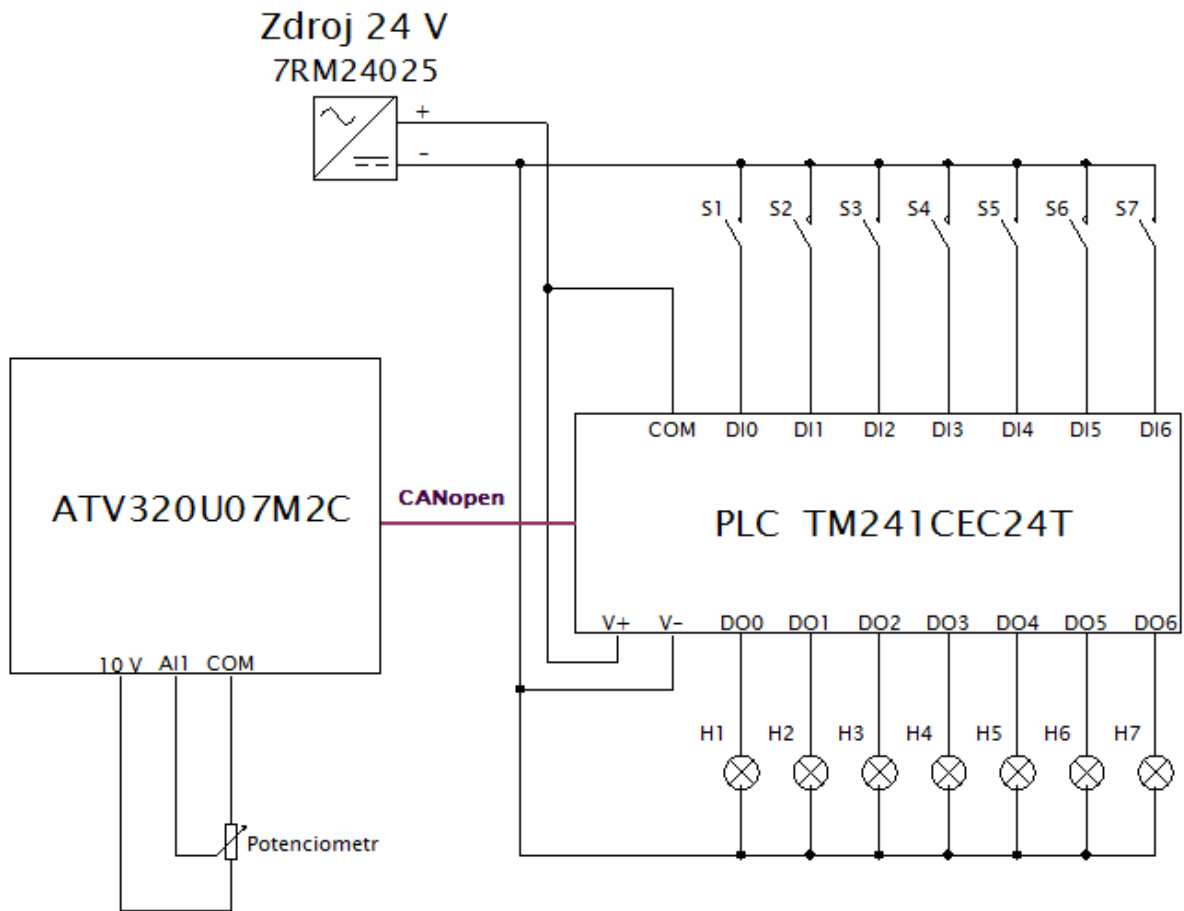
10 Přílohy

10.1 Silové schéma zapojení



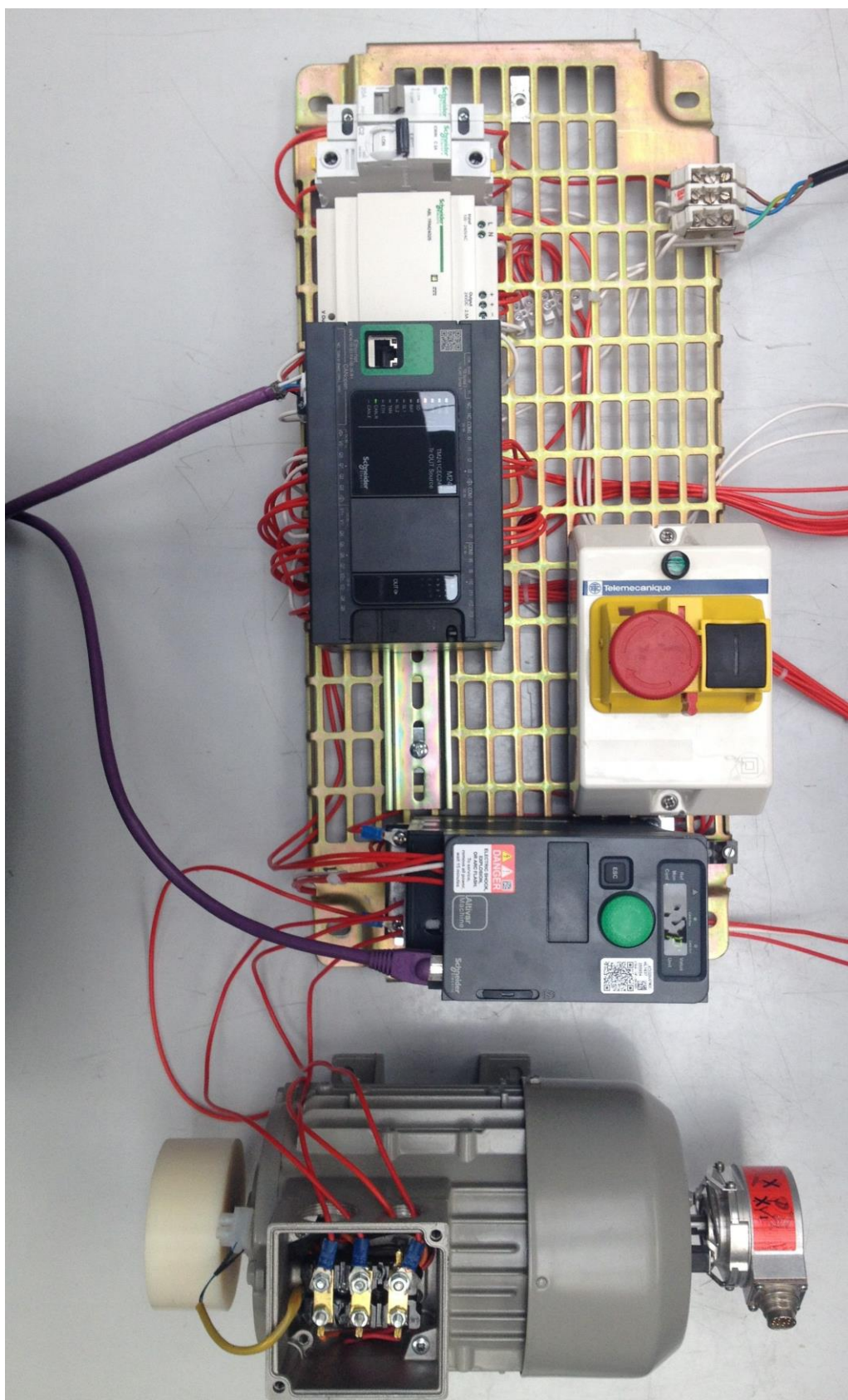
Obr. 29 Silové schéma zapojení

10.2 Zapojení vstupů a výstupů PLC a ATV320

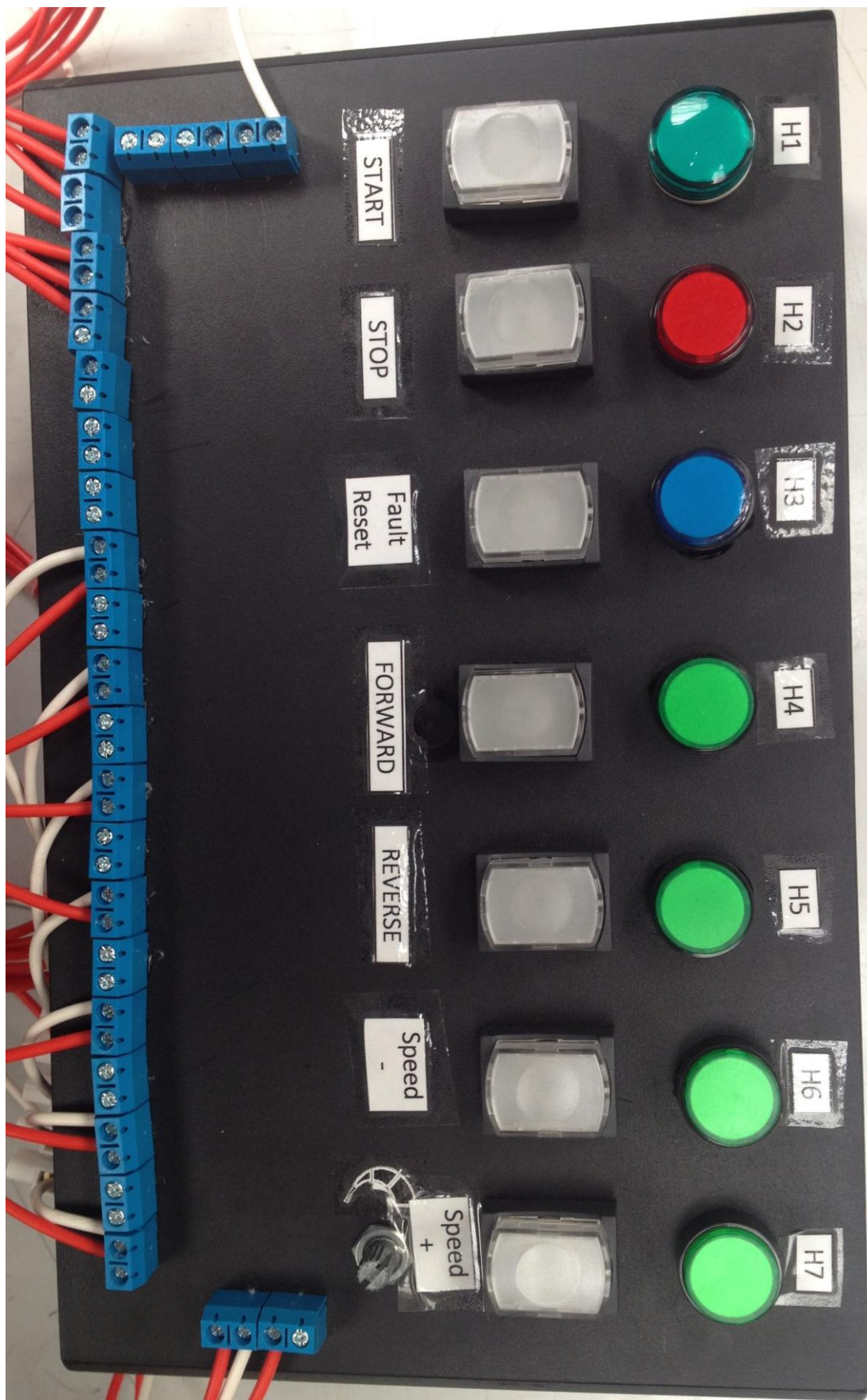


Obr. 30 Zapojení vstupů a výstupů PLC a ATV320

10.3 Fotodokumentace pracoviště



Obr. 31 Zapojení sestavy



Obr. 32 Ovládací panel

10.4 Funkční blok *Control_ATV*

Tab. 8 Funkční blok *Control_ATV*

GIATV.Control_ATV	Název funkčního bloku	
Axis	Reference na osu, pro kterou se bude funkční blok vykonávat	V našem případě je nastaveno na proměnou Axis_01, tímto způsobem máme pojmenován v programu frekvenční měnič ATV320
i_xEn	Příkaz pro aktivaci funkčního bloku	TRUE – příkaz pro aktivaci funkčního bloku FALSE – příkaz pro deaktivaci funkčního bloku
i_xKeepOpEn	Příkaz pro napájení motoru	TRUE – napájení je aktivní FALSE – napájení není aktivní
i_xFwd	Otáčení motoru vpřed	TRUE – otáčení motoru vpřed FALSE – motor se neotáčí
i_xRev	Změna otáčení motoru	TRUE – otáčení motoru v opačném smyslu FALSE – motor se neotáčí
i_xQckStop	Zastavení motoru pomocí nastavené rampy	TRUE – aktivace rychlé brzdy "Quick Stop" FALSE – brzda není aktivní
i_xFreeWhl	Zastavení motoru volnoběhem	TRUE – zastavení motoru volnoběhem FALSE – volnoběh není aktivní
i_wSpdRef	Reference na rychlost otáčení motoru	Reference na rychlost otáčení motoru se zadává v otáčkách za minutu, tento vstup je celočíselného datového typu
i_xFltReset	Resetování chyby, pokud nastala	TRUE – aktivace resetu chyby FALSE – žádná akce
q_xEn	Výstup funkčního bloku	TRUE – funkční blok je aktivní FALSE – funkční blok je neaktivní
q_xAlarm	Alarm funkčního bloku při zachycení chyby	TRUE – alarm je aktivní, pokud nastala chyba FALSE – v případě, že nenastala chyba, je tento výstup neaktivní

