



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

**UKÁZKY ŘÍZENÍ POHONU S MĚNIČEM
FREKVENCE SINAMICS S120**

EXAMPLES OF DRIVE CONTROL WITH FREQUENCY CONVERTOR SINAMICS S120

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Novák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Němec, CSc.

BRNO 2016

ABSTRAKT

V této diplomové práci je popsán laboratorní proces ukázky řízení pohonu s měničem frekvence SINAMICS S120. Zaměření této práce je rozděleno do tří částí. Úprava pohonu na translační pohyb pro přepravu otevřené nádoby s tekutinou. Návrh autonomního provozu pohonu bez připojení na další přístroje jako jsou osobní počítač, nebo PLC, včetně elektrického schéma. Simulace dynamického pohybu pro přepravu nádoby s tekutinou v simulačním prostředí MATLAB a realizace pomocí navrženého laboratorního pohonu. Uvedení do provozu a aktivace jednotlivých ovládacích funkcí je popisována krok za krokem.

ABSTRACT

In this thesis is described a laboratory process of example of traction control with frequency converter SINAMICS S120. The focus of this thesis is divided into three parts. Modification of the traction to translational motion for transport of the open vessel with liquid. Proposal of the autonomous operation of the traction without connection to other devices such as a personal computer or PLC, including wiring diagram. The simulation of a dynamic movement for transport of the vessel with liquid in the simulation environment MATLAB and implementation using the proposed laboratory traction. Commissioning and activation of each control functions is described step by step.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych především poděkovat panu doc. Ing. Zdeňkovi Němcovi, CSc., který mi byl nápomocen při realizaci projektu v simulačním prostředí MATLAB, dal mi cenné informace a věnoval mi svůj osobní čas při realizaci.

OBSAH:

1. Úvod	9
2. Frekvenční měniče	11
2.1 Princip frekvenčních měničů	12
2.2 Blokové schéma frekvenčních měničů	12
3. Frekvenční měnič Sinamics S120	15
3.1 Power Module PM340	16
3.1.1 Charakteristické křivky přetížení	18
3.1.2 Charakteristické křivky odlehčení	20
3.1.3 Příklad zapojení výkonového modulu PM340	22
3.1.4 Technické parametry PM340	24
3.2 Control Unit CU310-PN	26
3.2.1 Příklad zapojení řídicí jednotky CU310-PN	29
3.2.2 Technické parametry CU310-PN	30
3.3 SITOP power	31
3.3.1 Technické parametry SITOP power	31
3.4 Synchronní servomotor 1FK7	32
3.4.1 Charakteristický motoru	33
3.4.2 Technické parametry 1FK7	34
4. Realizace projektu	35
4.1 STARTER	35
4.1.1 Expert List	35
4.1.2 Control Panel	36
4.1.3 Osciloskop	36
4.1.4 Traversing Blocks	38
4.1.5 Drive Navigator	39
4.2 Zapojení pracoviště	40
4.2.1 Mechanismus pro translační pohyb	41
4.2.2 Ovládací panel zařízení	43
4.3 Uvedení pohonu do provozu	45
4.3.1 Konfigurace pohonu	45
4.3.2 Nastavení ovládacích parametrů	48
5. Laboratorní úloha	53
5.1 Pohyb kapaliny v nádobě	53
5.2 Rovnice sil v kapalině	54
5.3 Simulace pohybu nádoby v programu MATLAB	55
5.4 Příklady pohybů nádoby s kapalinou	57
6. Závěr	63
Seznam použité literatury	65
Příloha	67

1 Úvod

Vývoj číslicového řízení servopohonů zaznamenal, díky rozvoji magnetických materiálů, velký pokrok. Tyto magnetické materiály umožňují výrobu výkonnějších motorů, při zachování vnějších rozměrů. Zaváděním výkonnějších servomotorů do praxe vedlo k rozvoji dokonalejšího řízení, pomocí kterého je možné vyvíjet zařízení a aplikace s vysokou dynamikou při maximálním využití elektrické energie.

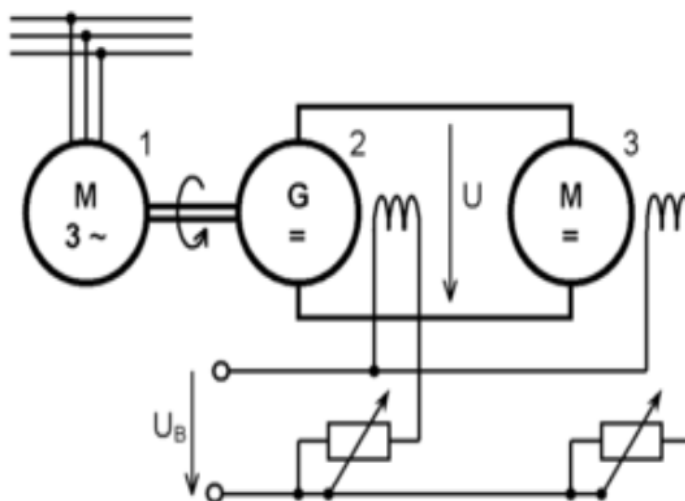
V dnešní době plně automatizovaných výrobních linek, kdy je kladen velký důraz na produktivitu a rychlost výrobního cyklu je díky těmto výkonnějším pohonům omezení spíše fyzikální. Například u plnicích linek je nejslabším místem dopravník mezi plnicí stanicí a lepící stanicí na uzavření nádoby, kdy je nádoba otevřená. V tomto okamžiku dochází k několika cyklům, než se nádoba uzavře. Dopravník musí při každém plnění nádoby zastavit a opět se rozjet s maximálním zrychlením. To má za následek rozvlnění kapaliny v nádobě. V závislosti na viskozitě kapaliny může dojít k vylití kapaliny z nádoby, nebo ke kontaminaci vnějšího obalu nádoby a dopravníku. Takto kontaminovaný obal už není možné hermeticky uzavřít a výrobek se tím znehodnotí.

Cílem této diplomové práce je navrhnout translační mechanismus a ovládání servopohonu pomocí frekvenčního měniče Sinamics S120. Simulovat kmitání kapaliny v nádobě v simulačním prostředí MATLAB a navrhnout optimální zrychlení mechanismu tak, aby nedošlo k rozlití kapaliny.

2 Frekvenční měniče

Frekvenční měniče dříve označované jako měniče kmitočtu jsou elektrická zařízení, která slouží k přeměně elektrického proudu s nějakou frekvencí na elektrický proud s jinou frekvencí na principu změny napětí a frekvence. Velmi často se používají k plynulé regulaci otáček asynchronních motorů. Například u obráběcích strojů se frekvenční měniče používají k pohonu a regulaci otáček hydraulických čerpadel. Pak není potřeba čerpadla točit na plné otáčky a přebytečný hydraulický tlak pomocí přetlakového ventilu pouštět zpět do nádrže. Proto mají zásadní vliv na životnost komponent a snižování emisí CO₂, na které jsou v současné době kladeny velké nároky při výrobě obráběcích strojů.

Dříve se k regulaci otáček stejnosměrných motorů používalo tzv. Ward Leonardovo soustrojí [1].



Obr.1 Ward Leonardovo soustrojí

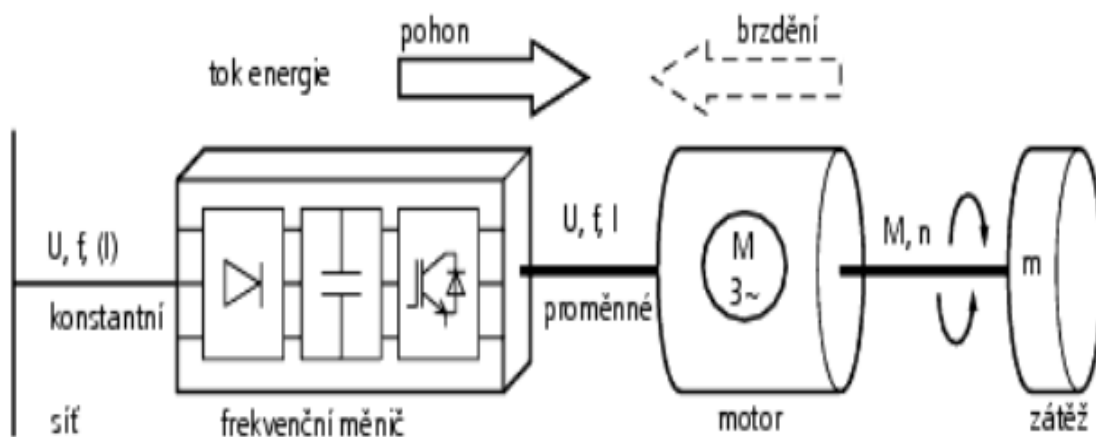
Ward Leonardovo soustrojí se skládá z poháněcího motoru 1 (může jím být synchronní motor, asynchronní motor,...), dynama 2 a stejnosměrného motoru 3 (oba s cizím buzením). Dnes je buzení nahrazováno usměrňovačem.

Stejnoseměrný motor 3 je napájen a poháněn přes elektrický meziobvod z dynama 2, které je pomocí hřídele pevně spojeno s poháněcím motorem 1. Pro akumulaci energie a práci s konstantními otáčkami se na hřídel někdy přidává setrvačnick. Tento princip regulace otáček se dodnes používá například u některých pohonu lanových drah.

2.1 Princip frekvenčních měničů

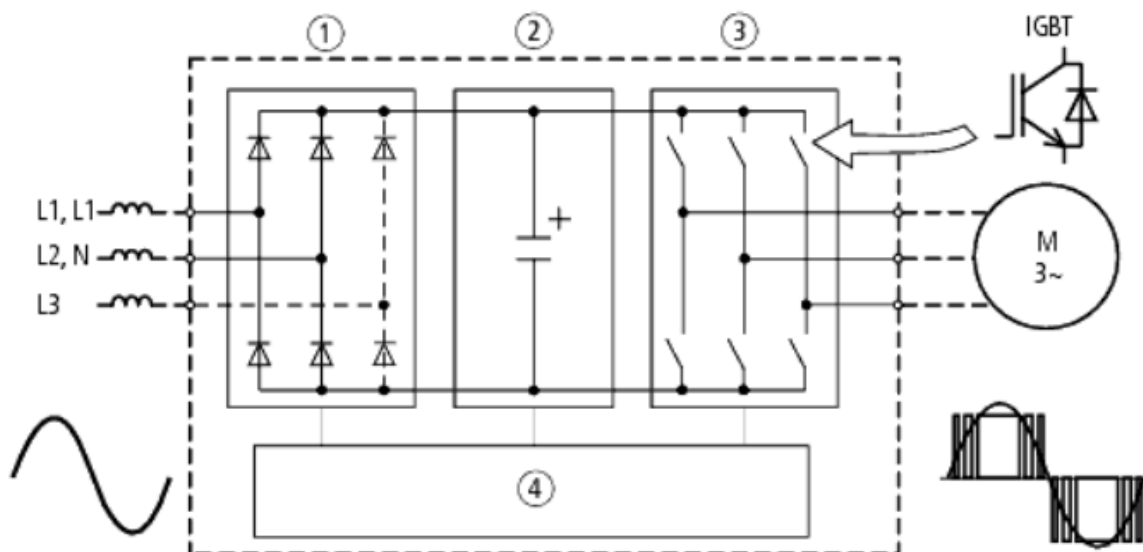
Principem frekvenčních měničů je přeměna napájecího napětí na stejnosměrné napětí, ze kterého frekvenční měnič konvertuje trojfázové napětí s proměnlivou frekvencí a napětím. Během tohoto procesu odebírá frekvenční měnič ze sítě pouze činný výkon. Pro provoz asynchronního motoru je dodáván jalový výkon meziobvodem stejnosměrného napětí [2].

Tento princip řízení napětí a frekvence umožňuje snadnou a plynulou regulaci rychlostí asynchronních motorů při jmenovitém momentovém zatížení a při nízkých otáčkách.



Obr.2 Princip činnosti frekvenčních měničů

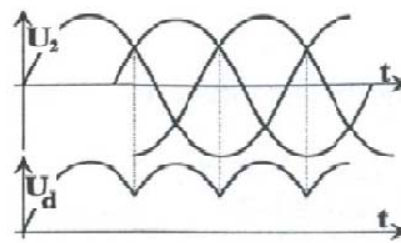
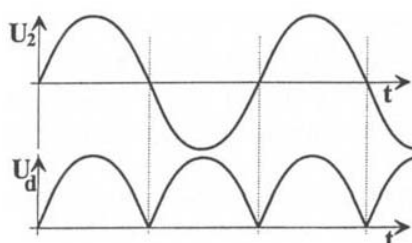
2.2 Blokové schéma frekvenčních měničů



Obr.3 Blokové schéma frekvenčního měniče

① Usměrňovač

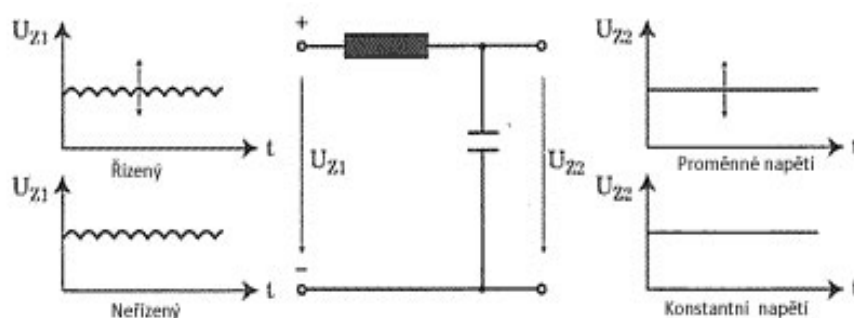
- může být řízený, který je tvořen tranzistory, nebo tyristory, nebo neřízený, který je tvořen pouze diodami
- může být napájen jednofázovým, nebo třífázovým napětím s konstantním kmitočtem [3].



Obr.4 Jednofázový usměrňovač Obr.5 Třífázový usměrňovač

② Meziobvod

- je to obvod odkud je přes měnič napájen motor
- stabilizuje se v něm napětí, které má zvlněný průběh na výstupu usměrňovače. Stabilizace se provádí například pomocí paralelně připojeného kondenzátoru Obr.6.
- existují tři druhy meziobvodů:
 - mění stejnosměrné napětí na stejnosměrný proud
 - mění konstantní napětí usměrňovače na proměnné
 - stabilizuje pulsuující napětí pro frekvenční měnič



Obr.6 Stabilizace napětí řízeného/neřízeného usměrňovače [4].

③ Měnič s IGBT

- někdy se označuje jako silová část
- přeměňuje stejnosměrné napětí na trojfázové, které jde pak přímo do motoru
- výstupní napětí měniče je upravováno tak, aby vyhovovalo pracovním podmínkám motoru
- IGBT (bipolární tranzistor s izolovanou gate) umožňují tím vyšší spínací frekvence cca 20kHz

④ Řídící obvod

- je řízen mikroprocesorem
- přijímá a posílá signály z usměrňovače, meziobvodu a měniče. Jak jsou jednotlivé části řízeny záleží na konstrukci frekvenčního měniče
- otevírá a uzavírá polovodičové spínače řídicími signály

Existují však také měniče bez meziobvodu, které vytváří nízkofrekvenční síť přímo z napájecí sítě – 50Hz. Velikost frekvence těchto měničů je však maximálně 30Hz [1].

Mezi nejvýznamnější výrobce frekvenčních měničů na trhu patří:

- Siemens
- Bosch Rexroth
- ABB
- Mitsubishi
- Eaton
- Frecon (český výrobce)

3 Frekvenční měniče Sinamics S120

Sinamics S120 je nízkonapěťový modulární měnič určený především pro aplikace ve výrobních strojích. Disponuje vysokou dynamikou polohování a synchronizací jedné či více os. Obsahuje v sobě motorový modul, který je v tomto případě součástí napájecího modulu (PM 340 – Power Module) a řídicí jednotku (CU310-PN – Control Unit).

Pomocí řídicí jednotky je ovládán napájecí modul (výkonová část měniče), který pak napájí připojený motor. Motorový modul obsahuje buď jednomotorovou nebo dvumotorovou jednotku pro připojení se jmenovitým proudem 3A – 200A a výkonem 75kW – 1200kW.

Velkou výhodou frekvenčních měničů Sinamics S120 je univerzální použití i ve složitých aplikacích jak pro synchronní, tak i pro asynchronní motory. Obsahuje velmi rychlé a jednoduché polohování. Uvedení do provozu je snadné díky systému autokonfigurace. Rozšíření těchto měničů je možné díky modulárnímu systému výstavby, které pak mezi sebou komunikují pomocí sítě Profinet, nebo Profibus DP [7].



Obr.7 Struktura frekvenčního měniče Sinamics S120

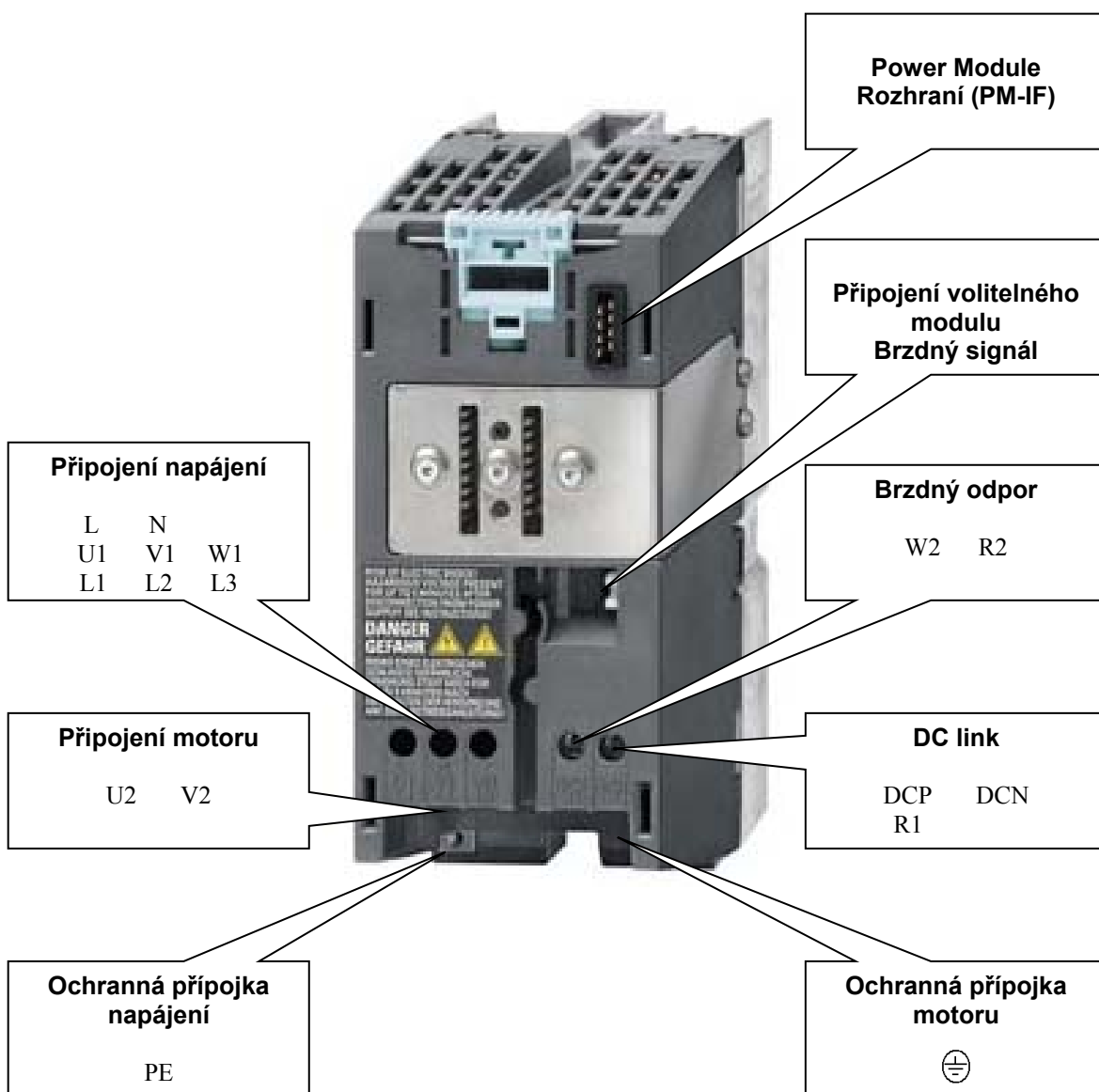
Velké využití nachází Sinamic S120 především v zařízeních jako jsou:

- obráběcí stroje, kde se používají k regulaci hydraulických čerpadel
- montážní a zkušební stanice
- balící stroje
- manipulační a zvedací technika
- lisovací a dřevobráběcí stroje

3.1 Power Module PM340

Power Module PM340 je výkonný napájecí modul. Výkonové moduly bez integrovaného síťového filtru jsou určeny pro připojení na uzemněné (TN, TT) a neuzemněné (IT) systémy. Výkonové moduly s integrovaným síťovým filtrem jsou vhodné pouze pro připojení k systémům TN.

Při použití integrované brzdové jednotky (Chopper), je nutné sledovat teplotu vnějšího brzdového odporu (termostatický přepínač) k zajištění ochrany proti tepelnému namáhání[9].



Obr.8 Power Module PM340 ve velikosti rámečku FSA



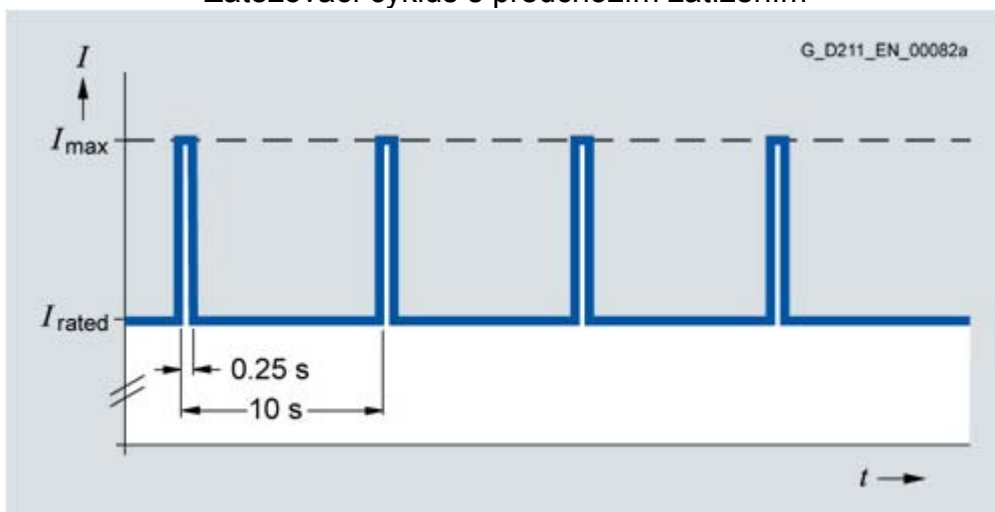
Obr.9 Power Module PM340 BlockSize [9]

PM340 v BlockSize (velikost bloku) formátu obsahuje jako standard následující připojení a rozhraní:

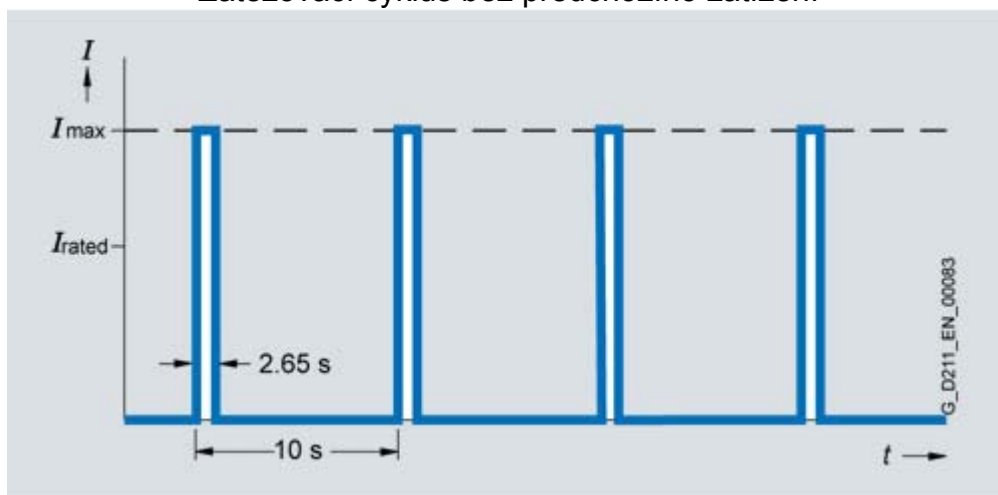
- linkové propojení
- PM-IF rozhraní pro připojení napájecího modulu PM340 a řídicí jednotky CU310 / SIMOTION D410 nebo adaptéru řídicí jednotky CUA31 / CUA32. PM340 také může napájet řídicí jednotku CU310 / SIMOTION D410 Control nebo adaptér řídicí jednotky CUA31 / CUA32 pomocí integrovaného napájení.
- výstupy DCP / R1 a R2 pro připojení externího brzdového odporu
- šroubové svorky pro připojení motoru
- řídicí obvod pro relé na ovládání brzdy
- ochranu uzemnění spoje 2 PE

3.1.1 Charakteristické křivky přetížení

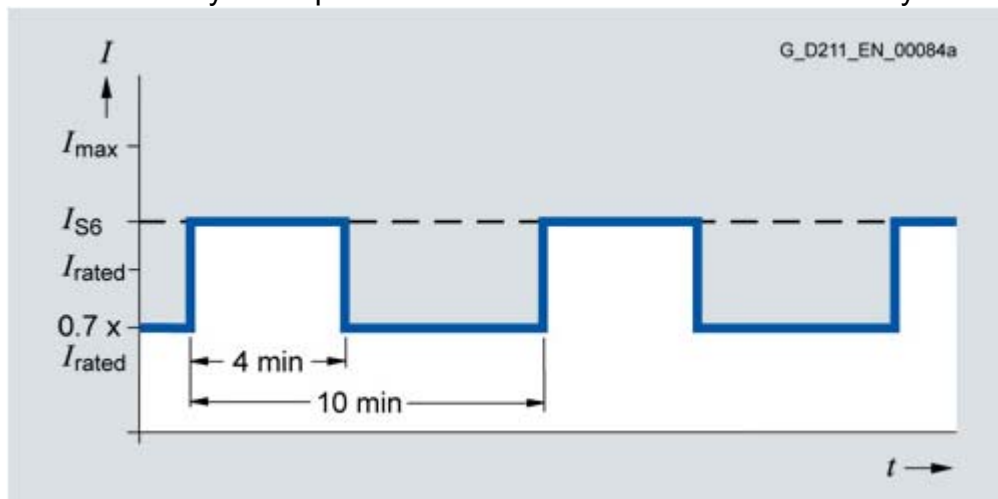
Zatěžovací cyklus s předchozím zatížením



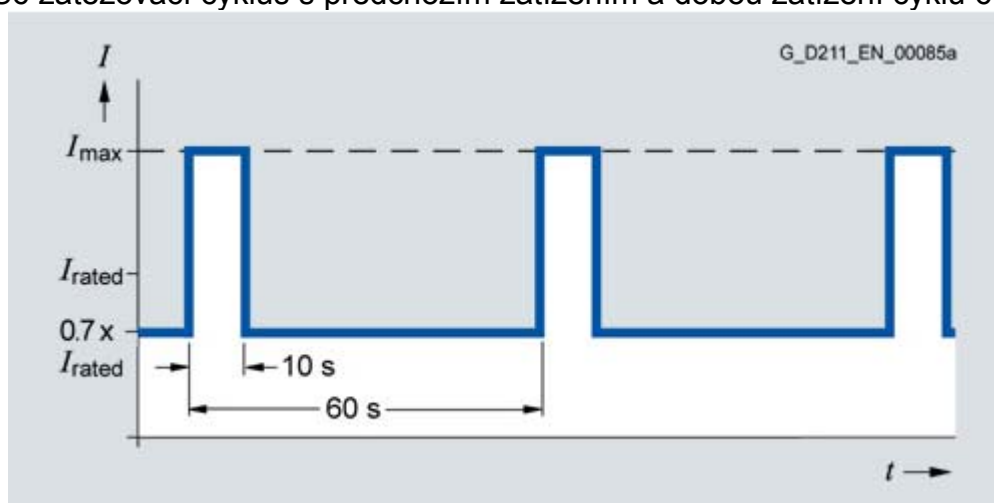
Zatěžovací cyklus bez předchozího zatížení



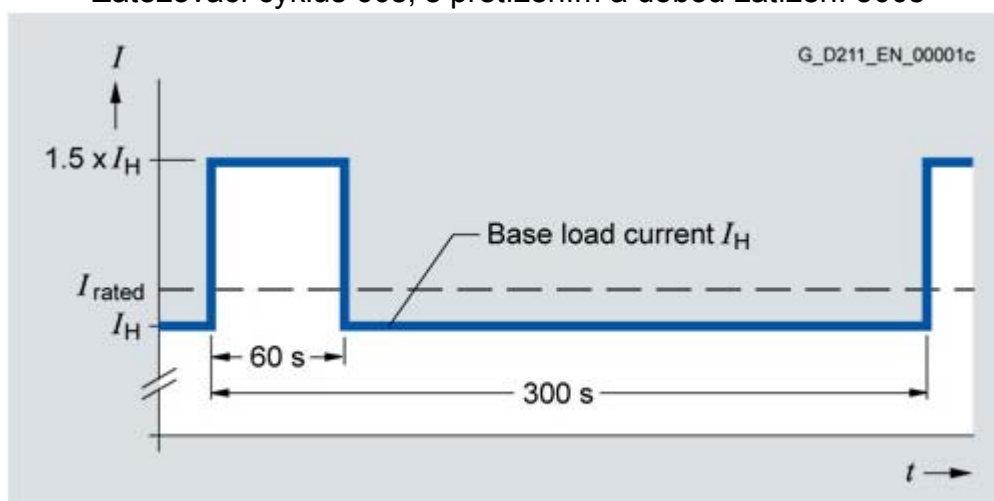
S6 zatěžovací cyklus s předchozím zatížením a dobou zatížení cyklu 600s



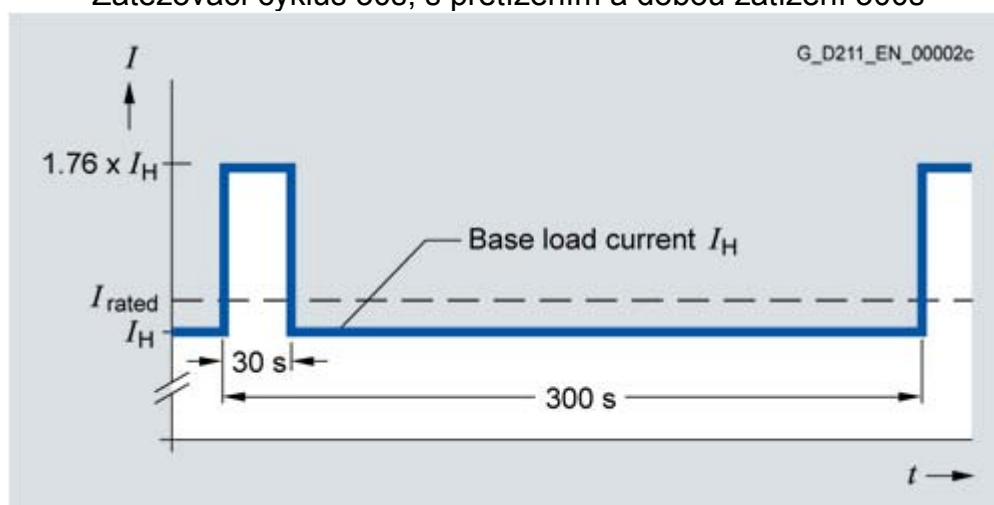
S6 zatěžovací cyklus s předchozím zatížením a dobou zatížení cyklu 60s



Zatěžovací cyklus 60s, s přetížením a dobou zatížení 300s



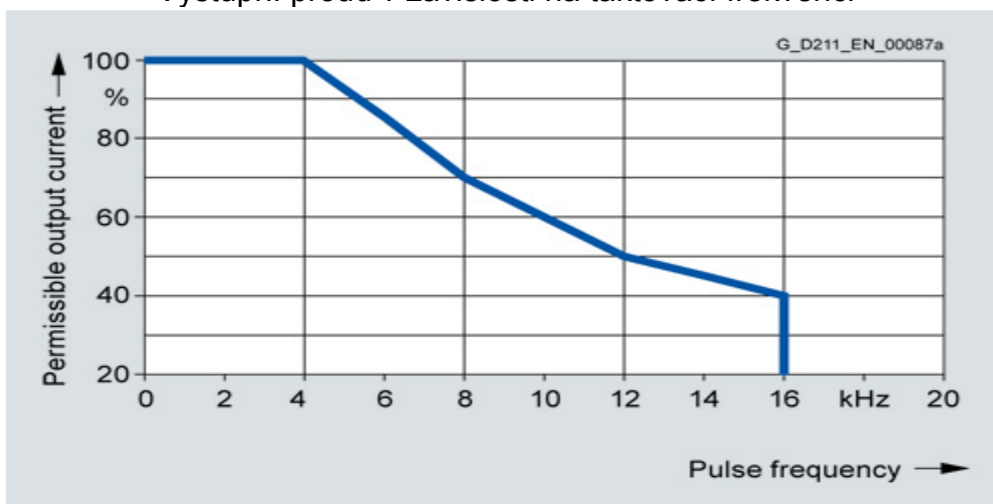
Zatěžovací cyklus 30s, s přetížením a dobou zatížení 300s



3.1.2 Charakteristické křivky odlehčení

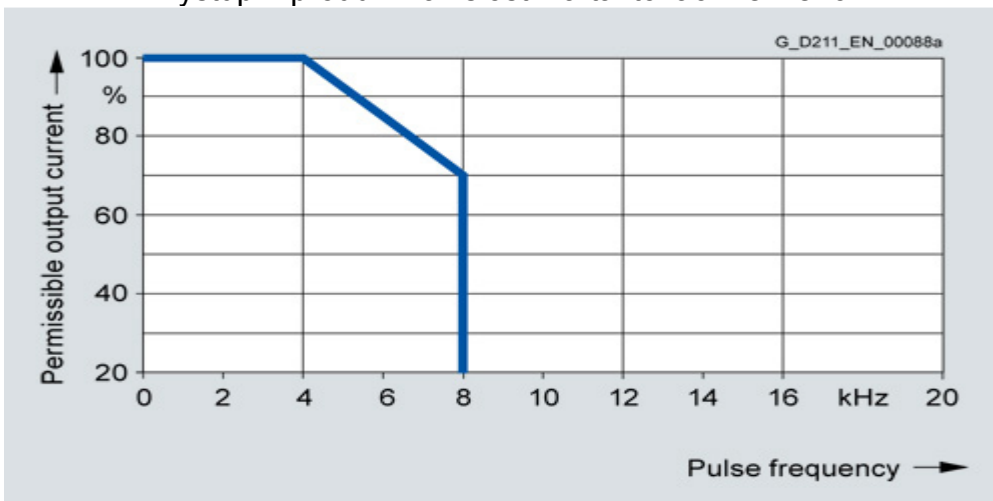
- Velikost rámu FSA do FSE

Výstupní proud v závislosti na taktovací frekvenci

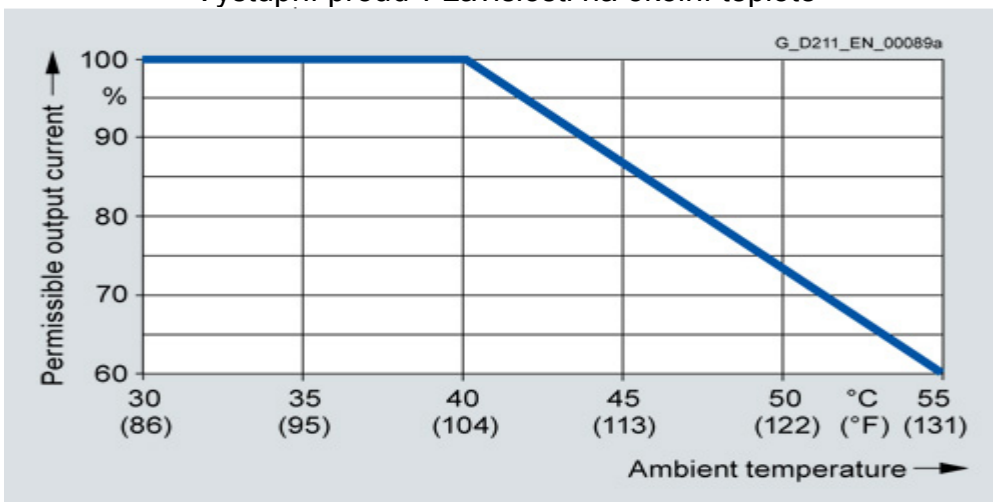


- Velikost rámu FSF

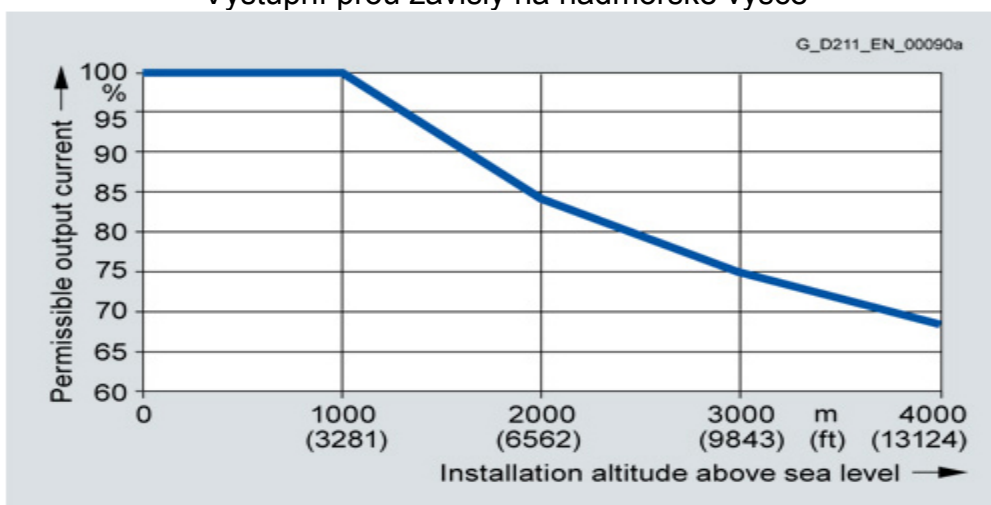
Výstupní proud v závislosti na taktovací frekvenci



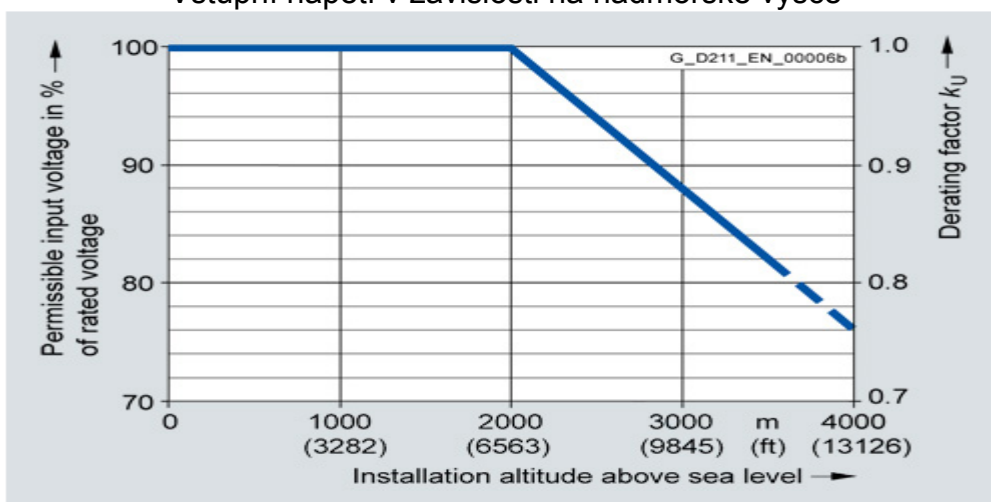
Výstupní proud v závislosti na okolní teplotě



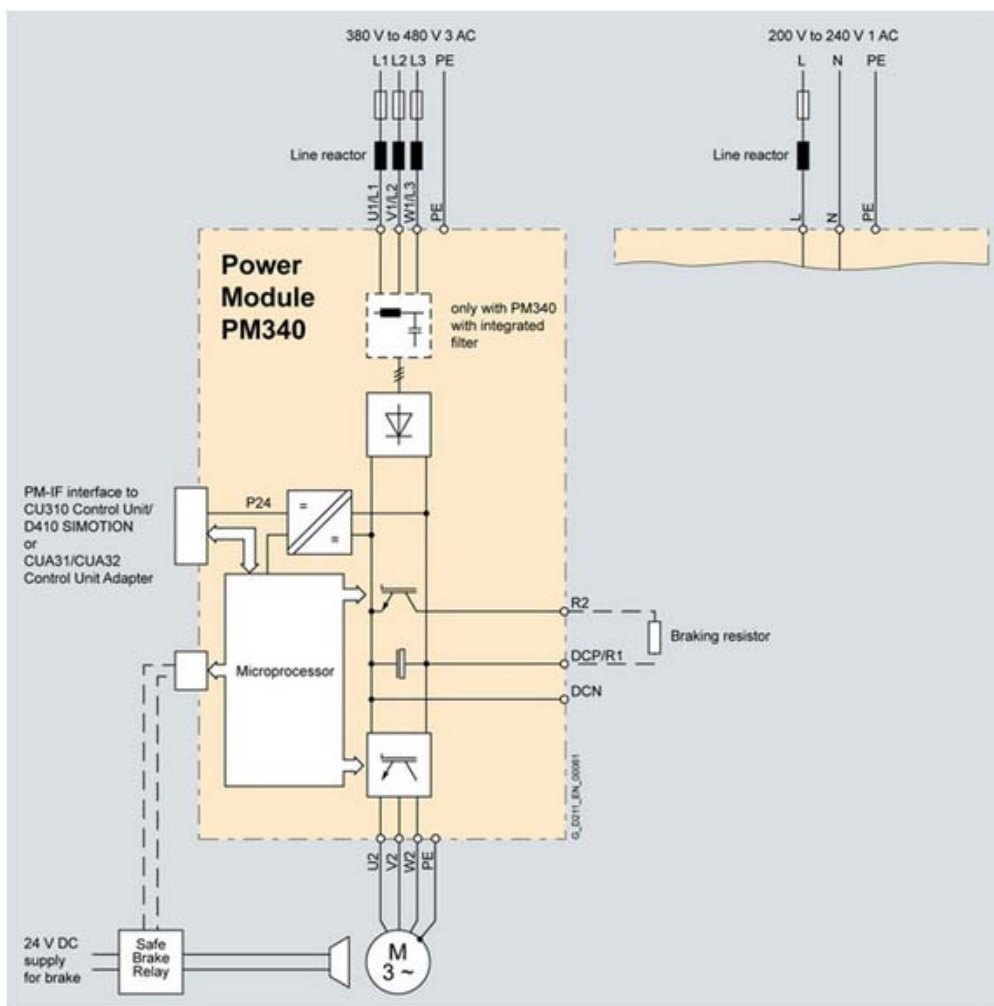
Výstupní proud závislý na nadmořské výšce



Vstupní napětí v závislosti na nadmořské výšce

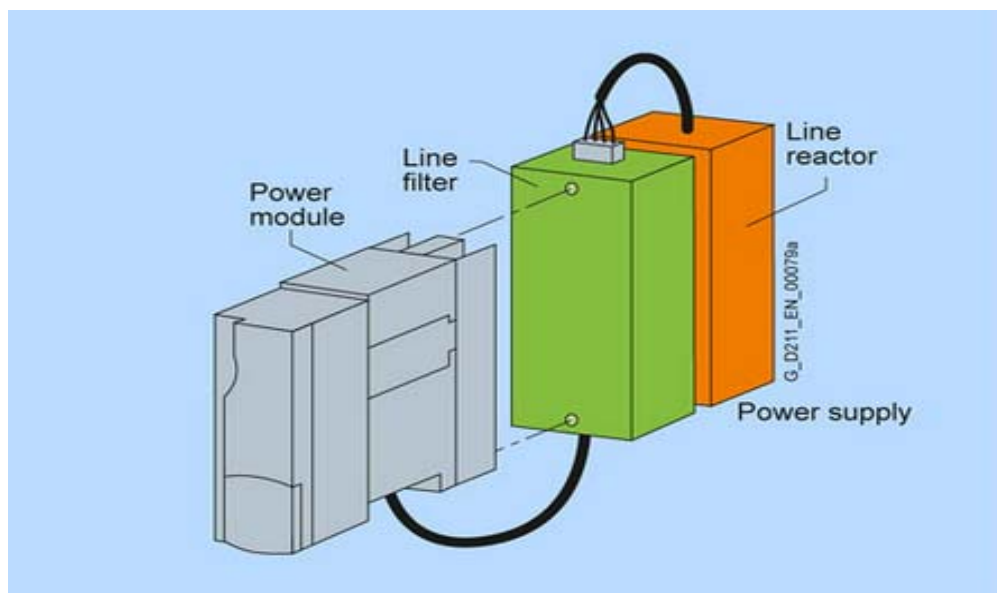


3.1.3 Příklad zapojení výkonového modulu PM340



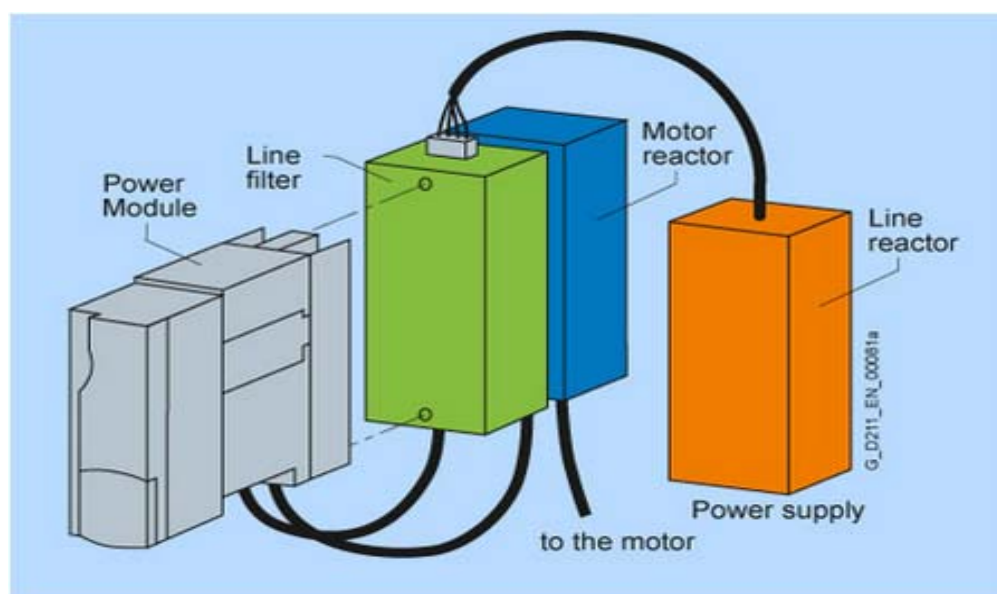
Obr.10 Příklad zapojení výkonového modulu PM340 [9]

Většina systémů pro výkonové moduly PM340 jsou navrženy jako základní komponenty. Jsou umístěny na základní desce a napájecí modul PM340 je umístěn před nimi. Možnost namontování až dvou základních komponent před sebou [9].



Obr.11 Příklad zapojení výkonového modulu PM340 s dvěma komponenty [9]

U systémů obsahujících více než dvě základní komponenty např: Line reactor + Motor reactor + brzdový odpor, musí být jednotlivé komponenty namontované na straně výkonového modulu. V tomto případě jsou Line reactor a Motor reactor umístěny za napájecí modul a brzdový odpor vedle napájecího modulu [9].



Obr.12 Příklad zapojení výkonového modulu PM340 s více komponenty [9]

3.1.4 Technické parametry PM340

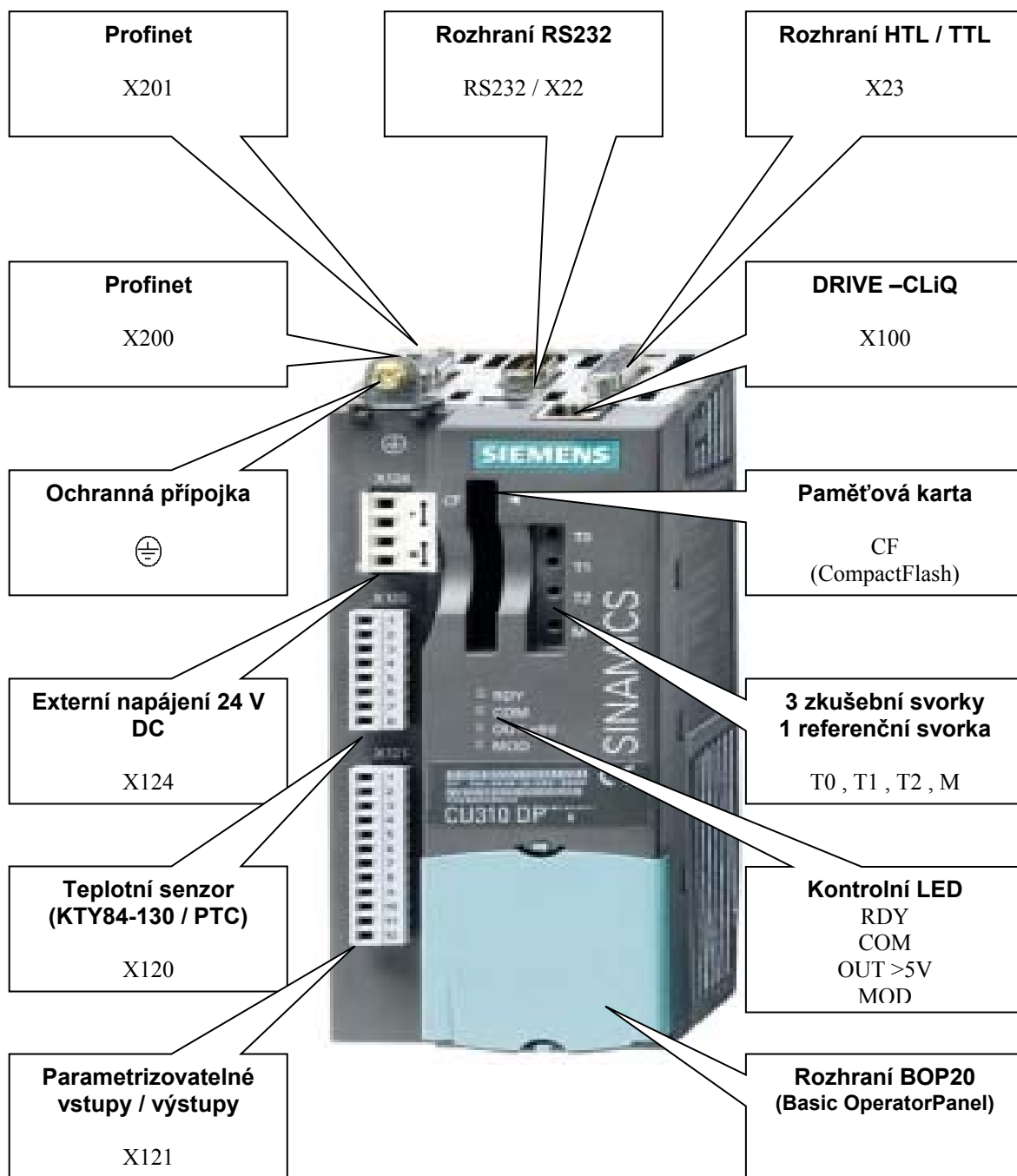
Technické parametry PM340 ve formátu rámečku FSA 6SL3210-1SB14-0AA0 s napájecím napětím 200 – 240V 1 AC.

Rozměry <ul style="list-style-type: none"> ● PM340 (v x š x h) [mm] ● PM340 s CU310 (v x š x h) [mm] 	173 x 73 x 145 173 x 73 x 234.6
Velikost rámečku	FSA (Frame Size A)
Hmotnost	1.3 kg
Napájecí napětí	200 – 240 V 1 AC \pm 10% (-15% < 1 min)
Jmenovitý vstupní proud s / bez tlumivky	6.5 / 10 A
Výstupní proud <ul style="list-style-type: none"> ● jmenovitý proud I_{μ} ● zatěžovací proud I H ● maximální proud I_{max} 	3.9 A 3.4 A 7.8 A
Výkon	0.75 kW
Ztrátový výkon	0.11 kW
Požadované chlazení	0.005 m ³ /s
Frekvence	47 – 63 Hz
Jmenovitá pulzní frekvence	4 kHz
Napájení 24V DC pro kontrolní jednotku	1.0 A
Brzdový odpor	\geq 180 Ω
Účinnost se jmenovitým výkonem <ul style="list-style-type: none"> ● základní účinnost (cos φ 1) ● celkem λ ● 200 – 240V 1 AC 	> 96 0.45 – 0.7
Kategorie přepětí podle EN 60664-1	Třída III
Změna frekvence meziobvodu	1 x za 30s
Napájení meziobvodu	1.35 x napájení
Výstupní frekvence <ul style="list-style-type: none"> ● řízení typu Servo ● řízení typu Vektor ● řízení typu V/f 	0 – 650 Hz 0 – 300 Hz 0 – 600 Hz
Napájení elektroniky	24 V DC -15 / +20 %
Potlačení rádiového rušení <ul style="list-style-type: none"> ● standard ● s integrovaným filtrem 	Bez potlačení rádiového rušení Kategorie C2 podle EN 61800-3

Způsob chlazení	Vzduchem pomocí vestavěného ventilátoru
Přípustná okolní teplota	0 – 40 °C bez snížení výkonu >40 – 55 °C můžeme vidět snížení výkonu
Nadmořská výška	Do 1000m nad mořem bez snížení výkonu >1000m nad mořem můžeme vidět snížení výkonu
Shoda	CE (nízké napětí a směrnice EMC)
Schválení	E192450
Krytí	IP20
Hladina hluku	< 45 dB
Délka kabelu motoru • stíněný • nestíněný	50 m 75 m
Svorkovnice L , N • průměr vodiče	Šroubové svorky 1.0 – 2.5 mm ²
Svorkovnice motoru U2 , V2 , W2 • průměr vodiče	Šroubové svorky 1.0 – 2.5 mm ²
Svorkovnice DC DCP/R1 , DCN , R2 • průměr vodiče	Šroubové svorky 1.0 – 2.5 mm ²
PE připojení	M4 šroub

3.2 Control Unit CU310-PN

Control Unit CU310-PN je řídicí jednotka sloužící k ovládání a monitorování výkonného napájecího modulu PM340. Ve spojení s napájecím module PM340 a paměťovou kartou CompactFlash, která obsahuje firmware a parametry nastavení, slouží k pohonu jedné osy. Pro komunikaci s nadřazenými systémy využívá průmyslovou komunikační sběrnici PROFINET IO [9].



Obr.13 Control Unit CU310 PN

CU310-PN jsou ve standardním provedení vybaveny následujícími přípojení rozhraní:

- 1x rozhraní PROFINET s 2 porty (RJ45) s profilem PROFIdrive V4
- 1x sériové rozhraní RS232
- 1x kodér pro vyhodnocovací signály. Tyto signály lze vyhodnocovat inkrementálně HTL / TTL, nebo neinkrementálně např: SSI čidlo polohy
- 1x DRIVE-CLiQ pro komunikaci s jinými DRIVE-CLiQ zařízeními
- 1x port pro paměťovou kartu CompactFlash
- 3x zkušební svorky a 1x referenční, pro podporu uvedení do provozu
- 1x rozhraní k panelu BOP20
- 4x parametrizovatelné digitální vstupy
- 4x parametrizovatelné oboustranné digitální vstupy a výstupy
- 1x svorka pro externí 24V DC napájení
- 1x PE pro zemnicí vodič
- 1x teplotní vstup pro snímač teploty (KTY84-130 nebo PTC)
- 1x rozhraní PM-IF pro komunikaci s výkonovou částí v BlockSize formátu
- 1x vstupy pro ovládání PM340

Nastavovací parametry a firmware jsou uloženy přímo na paměťové kartě CompactFlash, proto mohou být parametry řídicí jednotky měněny bez potřeby software. Řídicí jednotka CU310-PN však vyžaduje paměťovou kartu CompactFlash s firmwarem 2.4 nebo vyšším.

Stav řídicí jednotky je indikován pomocí kontrolních LED diod.

Pomocí BOP20 Basic Operator Panel lze měnit a ovládat některé parametry přímo na řídicí jednotce CU310-PN. Slouží hlavně k diagnostickým účelům a je umístěn přímo na řídicí jednotce. Může být do řídicí jednotky CU310-PN zaklapnut i během provozu[4].



Obr.14 BOP20 Basic Operator Panel

Řídící jednotka CU310-PN ovládá výkonový modul PM340 v BlockSize formátu přes PM-IF rozhraní. Díky tomu se mohou komponenty DRIVE-CLiQ, jako jsou snímače, nebo terminálové moduly zapojit přímo do konektoru DRIVE-CLiQ řídicí jednotky CU310-PN.

Výkonové moduly ve formátu šasi jsou ovládány řídicí jednotkou CU310 DP prostřednictvím rozhraní DRIVE-CLiQ. S touto volbou senzorů a terminálových modulů musí být připojeny k volným DRIVE-CLiQ konektorům na napájecím modulu.

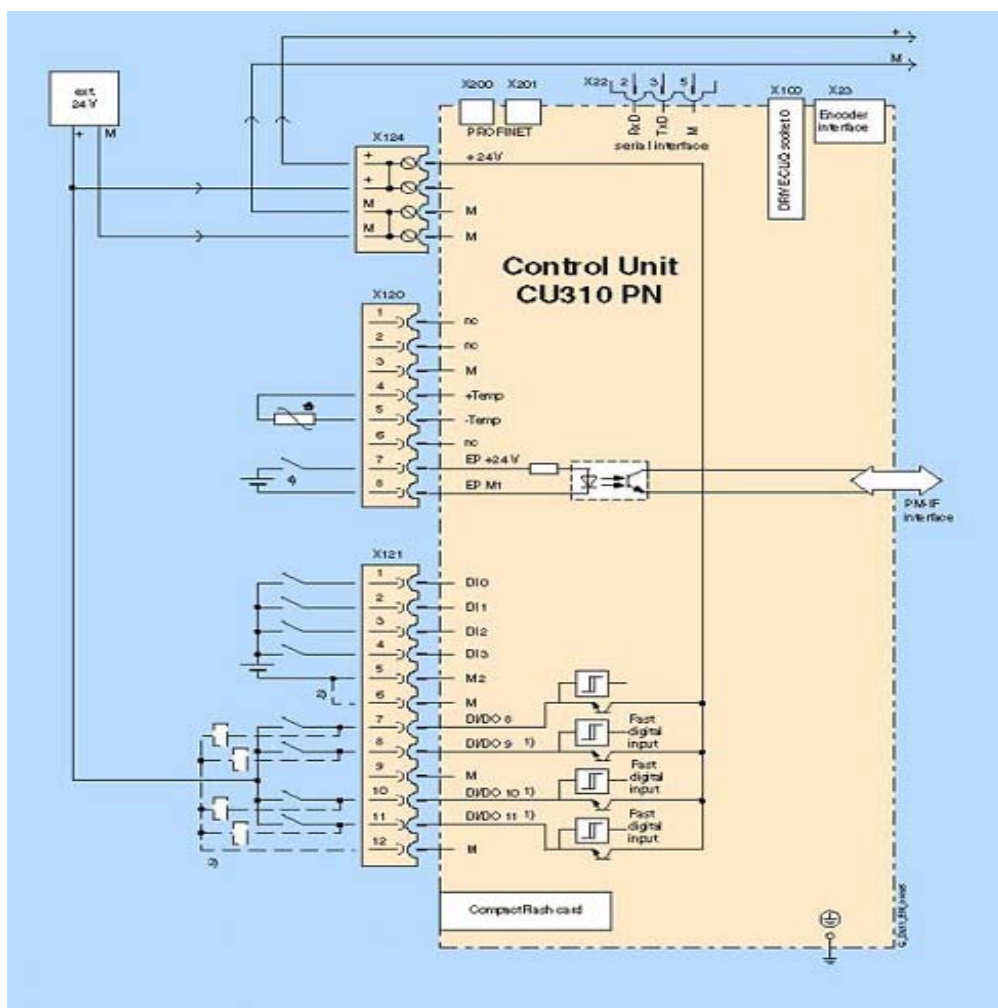
Řídící jednotka CU310-PN a příslušné komponenty jsou do provozu uváděny pomocí software STARTER, pomocí kterého mohou být i diagnostikovány. CU310-PN komunikuje s řídicím systémem vyšší úrovně pomocí rozhraní PROFINET IO a profilu PROFIdrive V4.

Externí napájení 24V DC pro napájení řídicí jednotky může být k řídicí jednotce CU310-PN připojeno i když vstupní napětí výkonového modulu PM340 není přivedeno.

Systém pohonu SINAMICS S120 s řídicí jednotkou CU310-PN přebírá funkci zařízení PROFINET IO a je možné provádět tyto operace:

- PROFINET IO zařízení
- 100Mbit / s full duplex
- Podpora v reálném čase třídy PROFINET IO:
 - RT (Real-Time)
 - IRT (Isochronous Real-time) minimální odesílací cyklus 500µs
- Připojení ke kontrolám jako zařízení PROFINET IO s využitím PROFIdrive se shodnou specifikací V4.
- Standardní komunikační protokol TCP/IP s využitím software STARTER pro technické procesy.
- 2 integrované porty RJ45, které využívají topologie linie, hvězda strom a mohou být nakonfigurovány bez externích přepínačů[9].

3.2.1 Příklad zapojení řídicí jednotky CU310-PN



Obr.15 Příklad zapojení řídicí jednotky CU310-PN [9]

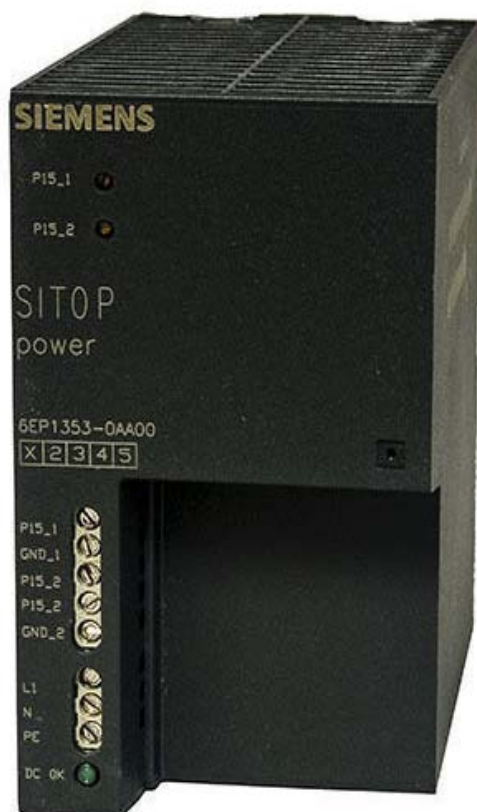
3.2.2 Technické parametry CU310-PN

Technické parametry CU310-PN 6SL3040-0LA01-0AA1.

Rozměry ● CU310 PN (v x š x h) [mm]	183.2 x 73 x 89.6
Hmotnost	0.95 kg
Požadavek 24 V DC max.	0.4 A pro CU310 PN + 0.5 A PM340
Průřez vodičů, max.	2.5 mm ²
Digitální vstupy ● napětí ● nízká úroveň ● vysoká úroveň ● proudové zatížení při 24 V DC ● zpoždění digitálních vstupů ● L → H ● H → L ● zpoždění vysokorychlostních digitálních vstupů ● L → H ● H → L ● průřez vodičů, max.	4x digitální vstup 4x digitální oboustranný vstup / výstup -3 ... +30 V -3 ... +5 V 15 ... 30 V 10 mA 50 μs 100 μs 5 μs 50 μs 0.5 mm ²
Digitální výstupy ● napětí ● proudové zatížení každého digitálního výstupu ● zpoždění digitálních výstupů ● průřez vodičů, max.	4x digitální oboustranný vstup / výstup 24 V DC 500 mA 150 μs 0.5 mm ²
Ztrátový výkon	< 20 W
Vyhodnocení snímače ● napětí enkodéru ● maximální kmitočet enkodéru ● přenosová rychlost SSI ● maximální délka kabelu ● TTL enkodér ● HTL enkodér ● SSI enkodér	S inkrementací TTL / HTL Bez inkrementace SSI čidlo polohy 24 V DC / 0.35 A nebo 5 V DC / 0.35 A 300 kHz 100 ... 250 kBaud 100 m (pouze bipolární signály) 100 m (pro unipolární signály) 300 m (pro bipolární signály) 100 m
PE připojení	M5 šroub

3.3 SITOP power

SITOP power je jednofázový napájecí zdroj od firmy Siemens vhodný pro univerzální použití. Tento spínaný zdroj nám díky možnému nasazení na DIN lištu umožňuje snadnou a rychlou instalaci v modulárních stavebnicových systémech.



Obr.16 SITOP power – zdroj napětí 24V

3.3.1 Technické parametry SITOP power

Vstup <ul style="list-style-type: none"> ● vstupní napětí ● rozsah napětí ● jmenovitá frekvence ● jmenovitý proud 	130 – 230 V AC 85 ... 132 V / 170 ... 264 V AC 50 – 60 Hz 4.1 / 2.4 A
Výstup <ul style="list-style-type: none"> ● výstupní napětí ● rozsah napětí ● stavový indikátor ● výstupní proud 	24 V DC 22.8 ... 28 V Zelená LED pro 24 V – OK 10 A
Ztrátový výkon	27 W
Třída ochrany	Třída I
Krytí dle normy EN 60529	IP20

3.4 Synchronní servomotor 1FK7

Servomotory 1FK7 jsou velmi stabilní synchronní motory s permanentními magnety. Ve spojení s širokou škálou komponent, jako jsou převodovky nebo snímače, lze motory optimálně využít na velké množství aplikací. Proto také splňují stále rostoucí požadavky nejmodernějších strojů. Proto také disponují schopností velkého přetížení. Díky velké hustotě nabízí prostorově úspornou instalaci. Zároveň disponují extrémně vysokou dynamickou odezvou díky nízkému momentu setrvačnosti rotoru.

V kombinaci s pohonným systémem SINAMICS S120 vytváří velice výkonný systém s vysokou funkčností. V závislosti na aplikaci mohou být vybaveny integrovanými systémy pro snímání rychlosti a polohy.

Motory 1FK7 jsou konstruovány bez vnějšího chlazení. Teplo se rozptýlí po celém povrchu motoru [9].

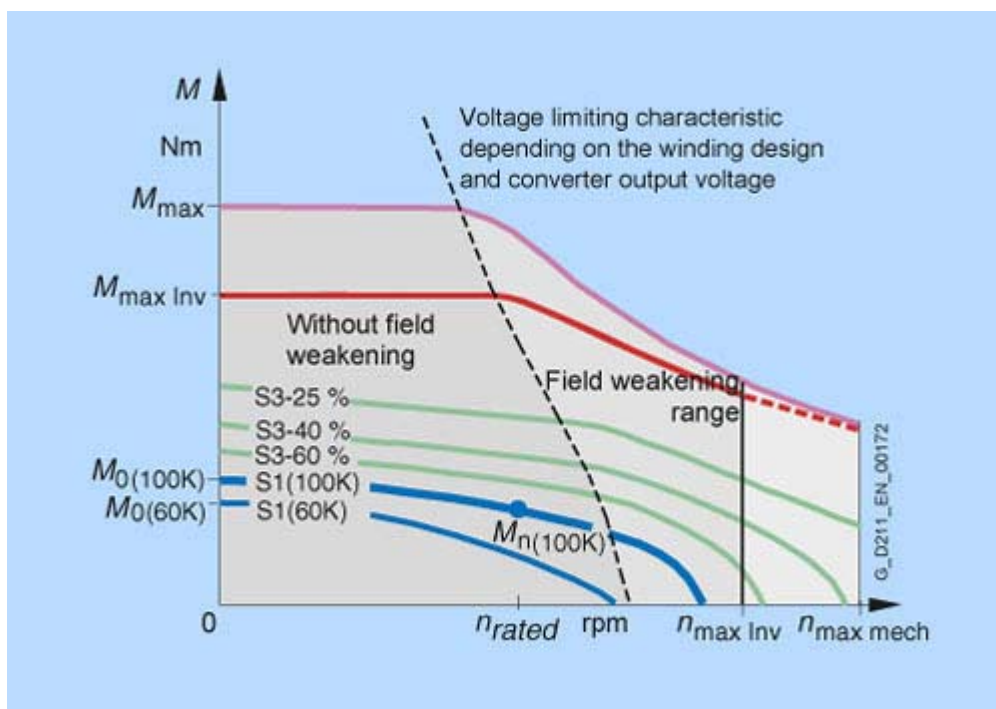


Obr.17 Synchronní servomotor 1FK7

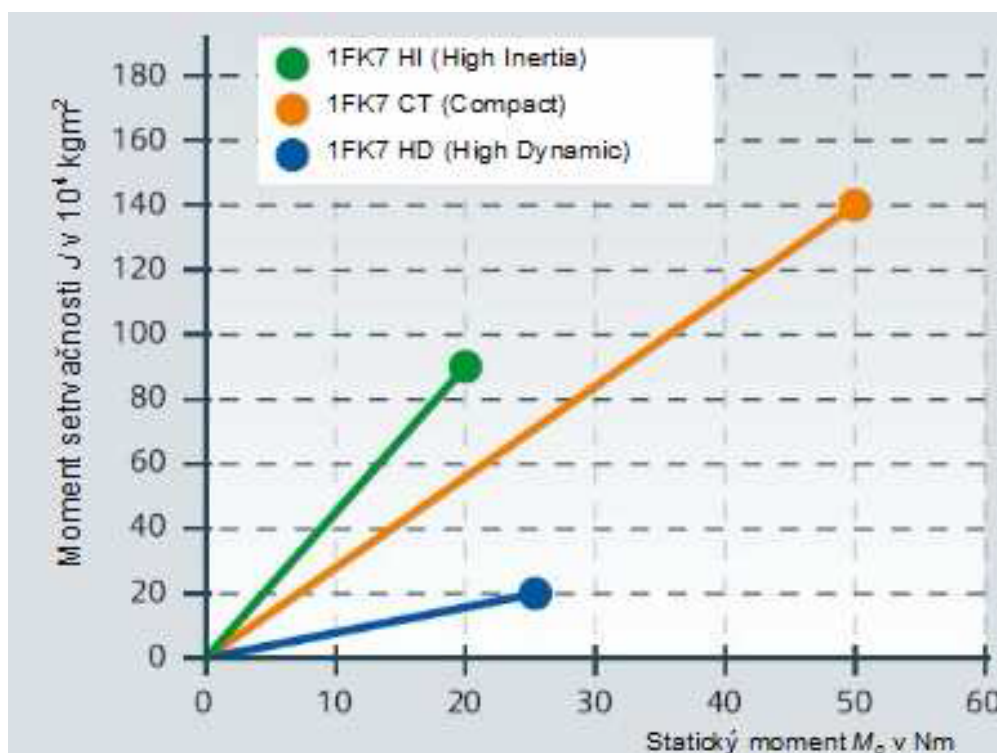
Možnosti využití:

- obráběcí stroje
- roboty a různé manipulátory
- pomocné osy montážních linek
- textilní stroje
- stroje na plasty, dřevo, obaly,...

3.4.1 Charakteristicky motoru



Obr.18 Charakteristiky motoru udávají závislost točivého momentu a otáček rotoru[9]



Obr.19 Sématický diagram [10]

3.4.2 Technické parametry 1FK7

Technické parametry synchronního servomotoru 1FK7042-5AF21-1UG0.

Typ motoru	Synchronní motor s permanentními magnety
Chlazení	Chlazení vzduchem vnějšího povrchu motoru
Kontrola teploty	Snímač teploty KTY 84 ve vinutí motoru
Izolace vinutí statoru dle normy EN 60034-1 (IEC 60034-1)	Teplotní třída 150 (F) pro oteplení vinutí $\Delta T=100$ K při okolní teplotě 40° C
Typ konstrukce dle normy EN 60034-7 (IEC 60034-7)	IM B5 (IM V1, IM V3)
Krytí dle normy EN 60034-5 (IEC 60034-5)	IP64
Prodloužení hřídele na straně pohonu dle normy DIN 748-3 (IEC 60072-1)	Rovná hřídel
Hřídel a přesnost příruby dle normy DIN 42955 (IEC 60072-1)	Tolerance N
Velikost vibrací dle normy EN 60034-14 (IEC 60034-14)	Stupeň A je udržován až do jmenovitých otáček
Hladina hluku dle normy EN ISO 1680	55 dB
Integrované systémy snímačů pro motory bez rozhraní DRIVE-CliQ	<ul style="list-style-type: none"> ● Inkrementální snímač sin/cos 1Vpp 2048 S/R ● Absolutní snímač multi-turn s EnDat rozhraním (pojezdový rozsah otáček 4096) 1FK704 ... 1FK710: 2048 S/R ● Vícepólový revolver (počet pólových dvojic odpovídá počtu pólových párů motoru) ● 2 – pólový resolver
Integrované systémy snímačů pro motory s rozhraním DRIVE-CliQ	<ul style="list-style-type: none"> ● 22 bit inkrementální snímač (2048 S/R interní) ● Absolutní snímač 1-otáčkový + 12 bit multi-turn (pojezdový rozsah otáček 4096) 1FK704 ... 1FK710: 22 bit 1-otáčkový (2048 S/R interní) ● 15 bit revolver ● 14 bit resolver
Spojení	Konektory pro spojení a napájení je možné otočit o 270°
Povrchová úprava	Bez povrchové úpravy – bez laku
Možnosti	<ul style="list-style-type: none"> ● Prodloužení hřídele na straně pohonu ● Vestavěný držák brzdy ● Planetová převodovka

4 Realizace projektu

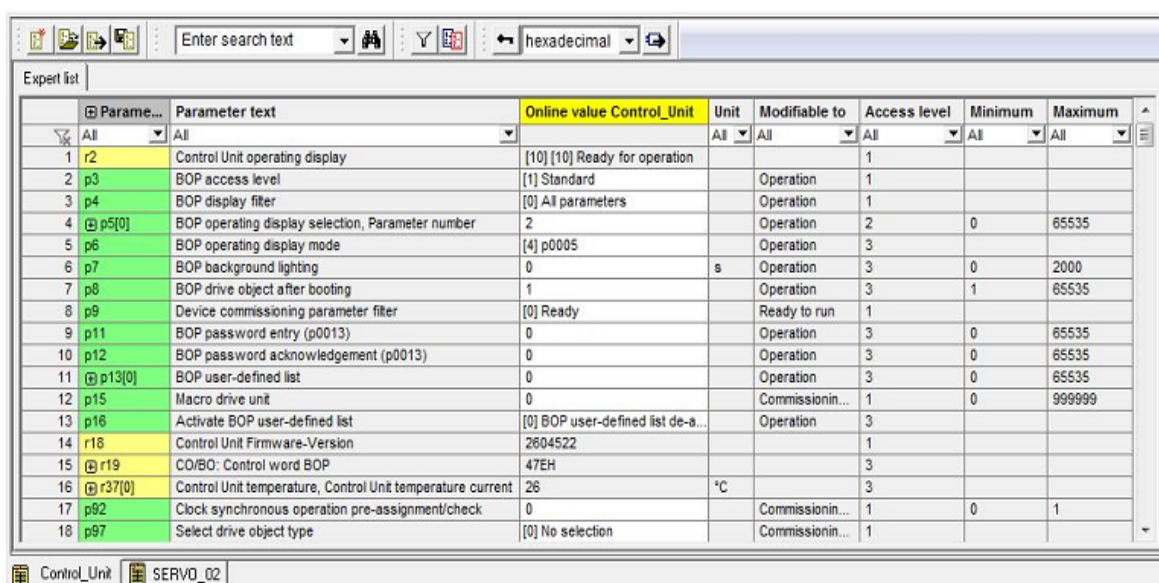
Základním krokem při realizaci tohoto projektu je nainstalování potřebného software STARTER do PC. Tento software je volně ke stažení po bezplatné registraci na webových stránkách společnosti Siemens [11]. Výhodné je stáhnout poslední nabízenou verzi software. V tomto případě se jedná o verzi STARTER_V44. Důležité je stáhnout včetně požadovaného software i další nabízené soubory s koncovkou SSPS a HELP. Soubory s koncovkou SSPS jsou knihovny a bez nich nemusí software STARTER správně fungovat.

4.1 STARTER

STARTER je software od společnosti Siemens určený k parametrizování a monitorování všech pohonů rodiny Sinamics a Micromaster. Tento program nám umožňuje uvádět pohony do provozu a monitorovat je například pomocí operátorského panelu, nebo funkce osciloskopu. Většinu věcí možné parametrizovat a monitorovat pomocí grafického prostředí.

4.1.1 Expert List

Všechny funkce je možné měnit pomocí takzvaných Expert Listů. Pro každé připojené zařízení existuje jeden Expert List obsahující Parametr, Text, Modifikace (úprava), Úroveň přístupu, hodnotu parametru Minimum a Maximum. V tomto případě je jeden Expert List pro řídicí jednotku Control_Unit a druhý pro synchronní servomotor SERVO_02.



The screenshot shows the 'Expert list' window in the STARTER software. At the top, there is a search bar with the text 'Enter search text' and a dropdown menu set to 'hexadecimal'. Below the search bar is a table with the following columns: Parametr, Parameter text, Online value Control_Unit, Unit, Modifiable to, Access level, Minimum, and Maximum. The table contains 18 rows of parameters, with the first two columns highlighted in yellow and the last two in green. The parameters listed are:

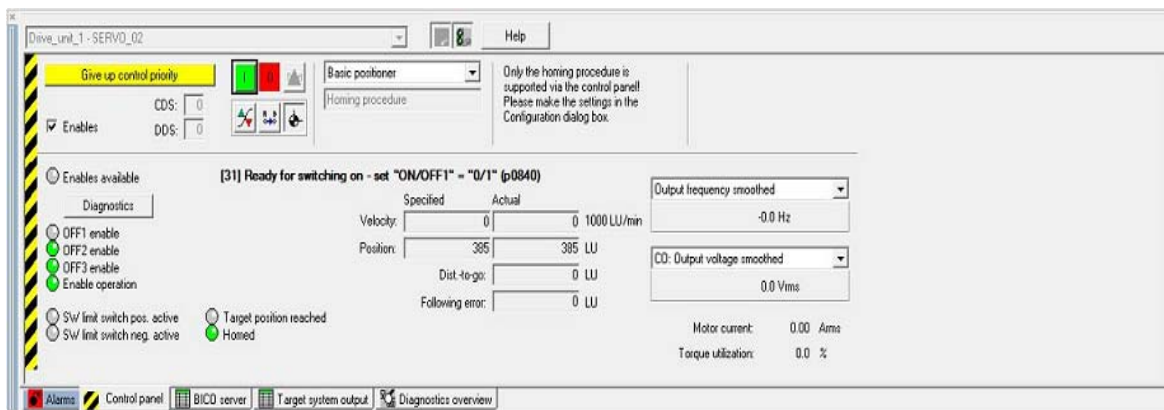
Parametr	Parameter text	Online value Control_Unit	Unit	Modifiable to	Access level	Minimum	Maximum
r2	Control Unit operating display	[10] [10] Ready for operation			1		
p3	BOP access level	[1] Standard		Operation	1		
p4	BOP display filter	[0] All parameters		Operation	1		
p5[0]	BOP operating display selection, Parameter number	2		Operation	2	0	65535
p6	BOP operating display mode	[4] p0005		Operation	3		
p7	BOP background lighting	0	s	Operation	3	0	2000
p8	BOP drive object after booting	1		Operation	3	1	65535
p9	Device commissioning parameter filter	[0] Ready		Ready to run	1		
p11	BOP password entry (p0013)	0		Operation	3	0	65535
p12	BOP password acknowledgement (p0013)	0		Operation	3	0	65535
p13[0]	BOP user-defined list	0		Operation	3	0	65535
p15	Macro drive unit	0		Commissionin...	1	0	999999
p16	Activate BOP user-defined list	[0] BOP user-defined list de-a...		Operation	3		
r18	Control Unit Firmware-Version	2604522			1		
r19	CO/BO: Control word BOP	47EH			3		
r37[0]	Control Unit temperature, Control Unit temperature current	26	°C		3		
p92	Clock synchronous operation pre-assignment/check	0		Commissionin...	1	0	1
p97	Select drive object type	[0] No selection		Commissionin...	1		

At the bottom of the window, there are two tabs: 'Control_Unit' and 'SERVO_02'.

Obr.20 Expert List v programu STARTER

4.1.2 Control Panel

Důležitou funkcí pro monitorování a manuální ovládání pohonů je kontrolní panel Obr.21, který najdeme v levé části programu STARTER pod námi vytvořeným projektem, nakonfigurovaným pohonem a ve složce „Commissioning“. Tato funkce je dostupná pouze v Online režimu.

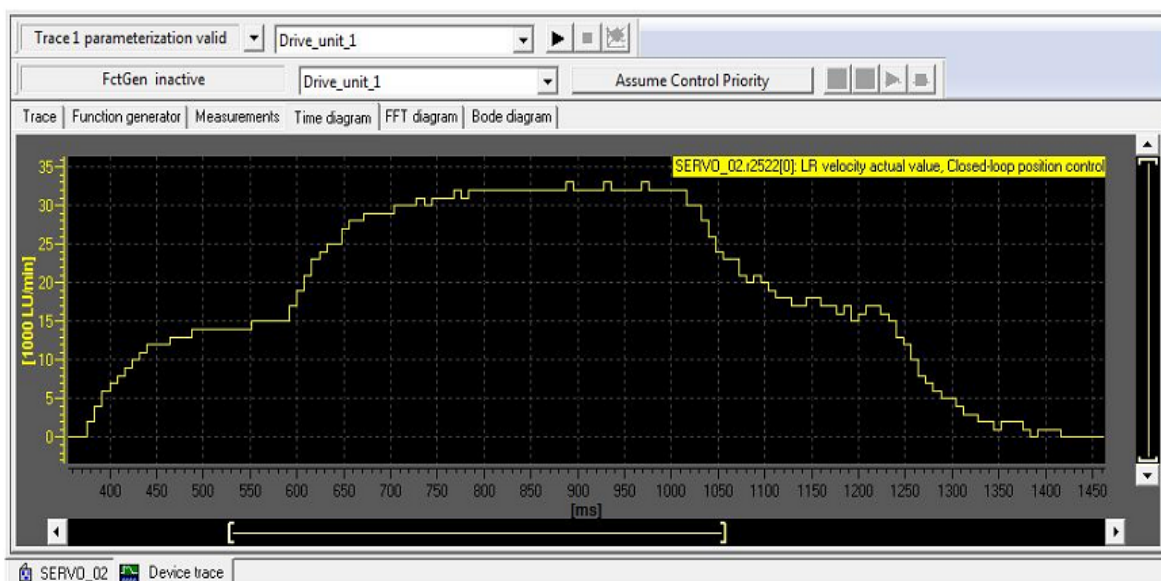


Obr.21 Control Panel v programu STARTER

Pomocí kontrol panelu můžeme manuálně ovládat například otáčky pohonu, nebo spouštět jednotlivé polohy pohonu z „Traversing blocks“ přepínáním režimů v operačního módu „n setpoint specification / Basic positioner“. Díky grafickému zobrazení veličin můžeme sledovat a diagnostikovat aktuální a požadované parametry.

4.1.3 Osciloskop

Přesnější hodnoty parametrů lze sledovat pomocí funkce osciloskopu Obr.22, která se aktivuje pomocí tlačítka  „Device trace / function generator“.

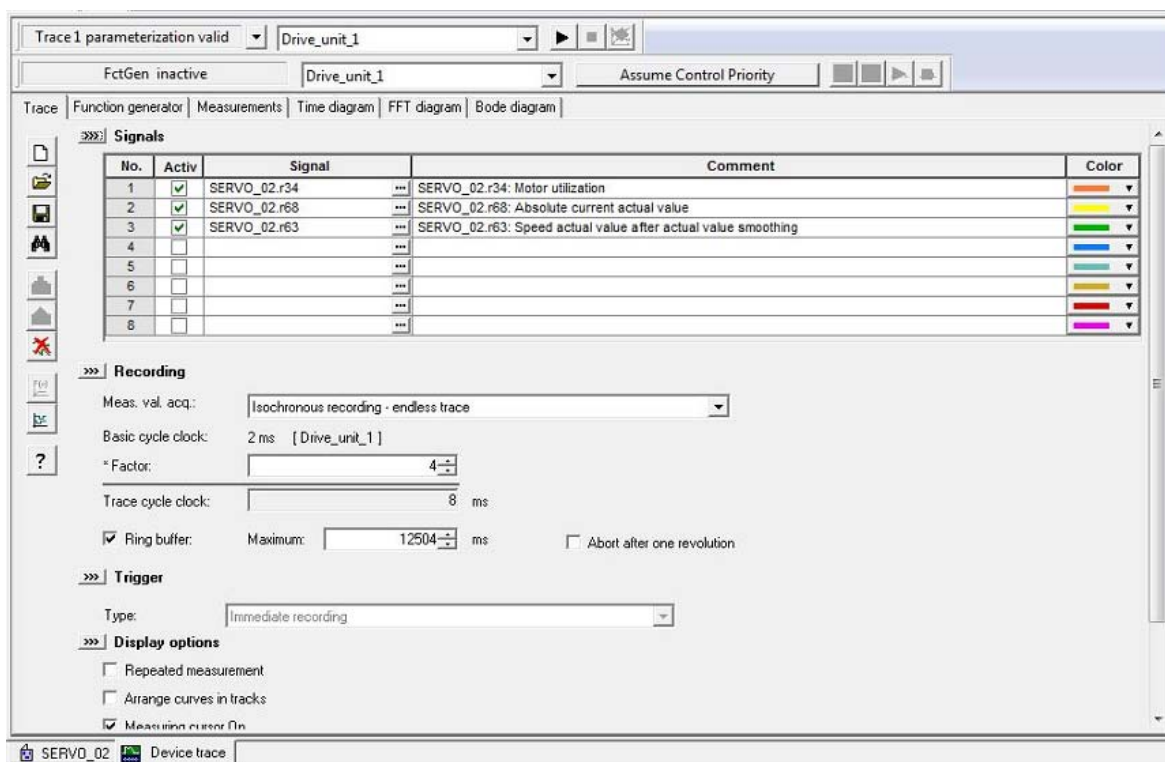


Obr.22 Osciloskop v programu STARTER

Osciloskop nám umožňuje sledovat jednotlivé požadované parametry v čase, které se nastavují v záložce „Trace“ Obr.23. Zde si můžeme nadefinovat požadované signály, které chceme diagnostikovat. Jednotlivé signály můžeme barevně rozlišit. Nahrávání Zobrazovaného signálu se provádí přes tlačítko „Trace start“. Dobu snímání signálu můžeme definovat časovým limitem, nebo manuálně stiskem tlačítka „Stop trace“. Tuto funkci je nutné aktivovat v rozbalovacím menu „Meas. val. acq.“.

Nahráný požadovaný signál se zobrazí v záložce „Time diagram“ Obr.22, kde je možné zobrazený signál dále zkoumat například pomocí měřícího kurzoru „Measuring cursor On“. Lze si nahrát najednou více signálů a jejich jednotlivé zobrazení se aktivuje nebo deaktivuje v záložce „Measurements“.

Pomocí funkce generátor v záložce „Function generator“ se mohou generovat některé předdefinované signály např. sinusový, krokový, nebo trojúhelníkový signál.



Obr.23 Nastavení parametrů osciloskopu v Trace

4.1.4 Traversing Blocks

Program STARTER neumožňuje psaní programu pro ovládání pohonu v žádném strukturovaném editoru nebo pomocí funkčních bloků. Program je zde tvořen v tabulkovém editoru v tzv. Traversing Blocks. Zde se definují jednotlivé parametry pozice, rychlosti posuvu, zrychlení, zpomalení nebo podmínky pro pokračování programu. Dále je zde k dispozici funkce „Hide“, díky které se mohou jednotlivé řádky tabulkového editoru dočasně deaktivovat. Počet řádků k parametrizaci je maximálně 64.

Všechny změny parametrů se provádí přímo v pohonu. Odpadá tím nutnost programování PLC. Není nutná přímá komunikace mezi frekvenčním měničem a ovládacím panelem.

Parametry se mohou měnit buď v Online režimu, kde si je můžeme odladit a přímo vyzkoušet, ale pro konečné uložení parametrů se musí zadat v režimu Offline.

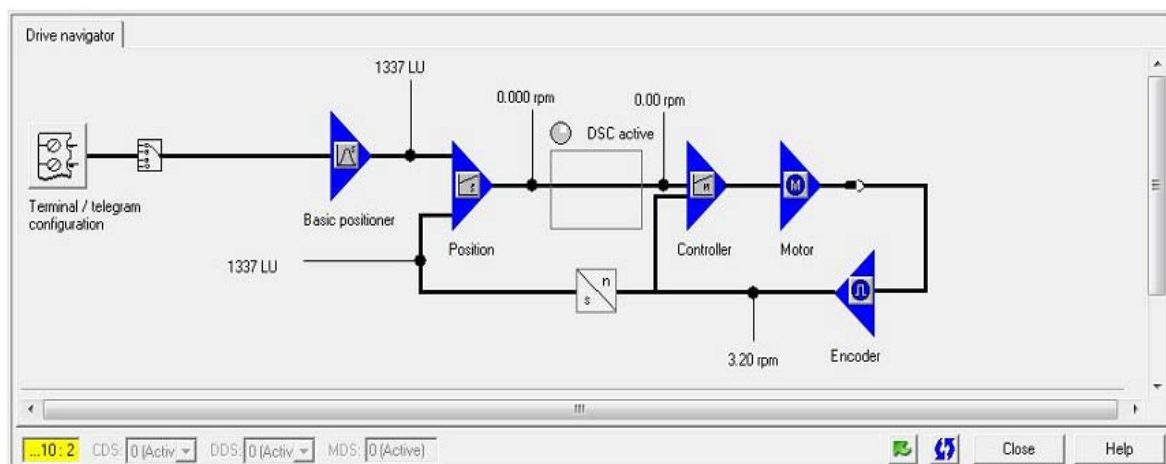
Index	Job	Parameter	Mode	Position	Velocity	Acceleration	Deceleration	Advance	Hide	
1	0	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	20	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
2	1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	30	10	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
3	2	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	40	15	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
4	3	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	50	20	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
5	4	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	60	25	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
6	5	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	325	30	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
7	6	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	355	35	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
8	7	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	365	25	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
9	8	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	375	20	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
10	9	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	385	15	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
11	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
12	15	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	3	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
13	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
14	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
15	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
16	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
17	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
18	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
19	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
20	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
21	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
22	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
23	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
24	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
25	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
26	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
27	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
28	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
29	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>

Obr.24 Traversing Blocks v programu STARTER

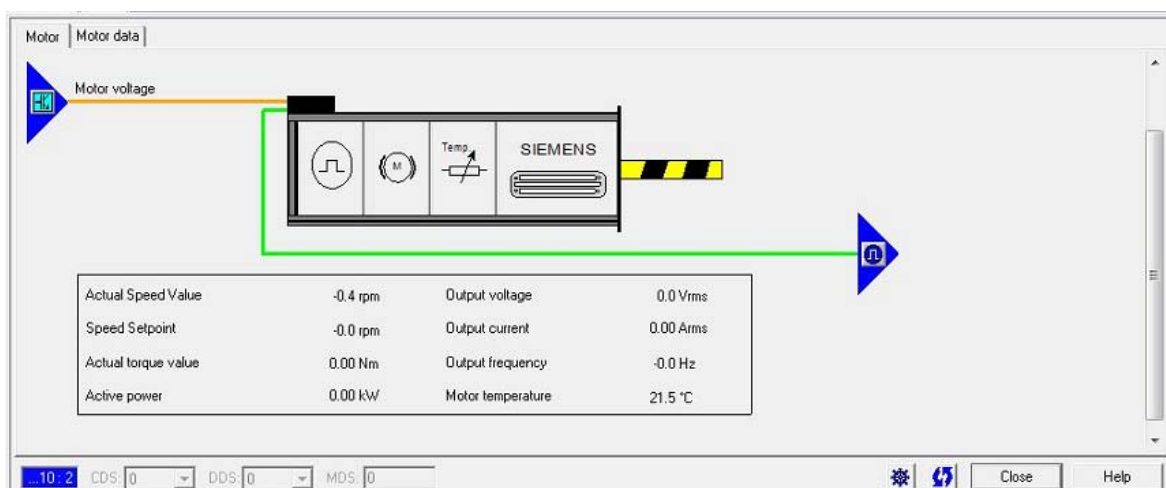
4.1.5 Drive Navigator

Velkou předností programu STARTER je zobrazení blokových schémat s připojenými komponentami. Díky tomu můžeme snadno a rychle v grafickém provedení diagnostikovat jednotlivé signály před nebo za jednotlivými funkčními bloky.

Jednotlivé funkční bloky se dají otevřít a manuálně změnit jejich tovární nastavení. Takováto úprava zapříčiní dodatečné odpojení editovaného zařízení, aby nedošlo k jeho poškození.



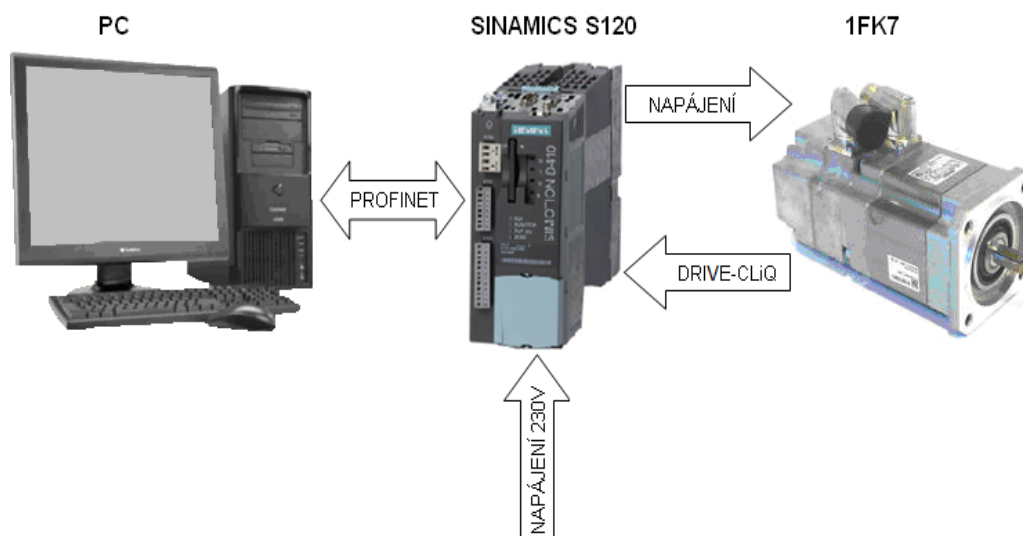
Obr.25 Blokové schéma frekvenčního měniče s motorem



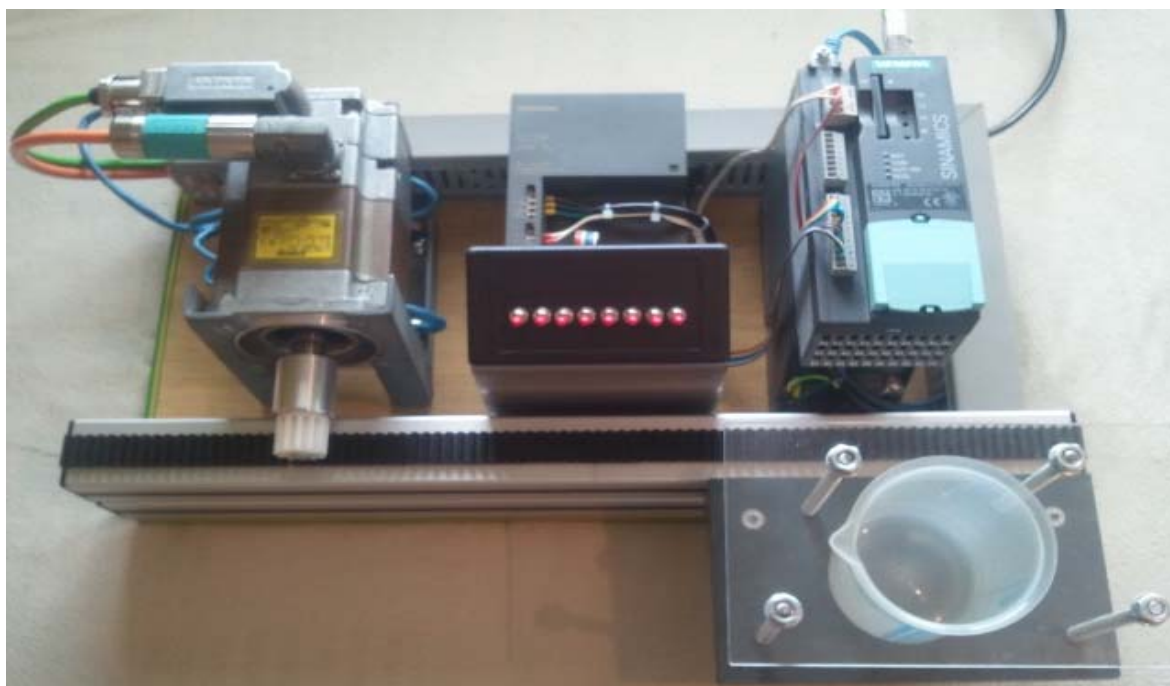
Obr.26 Blokové schéma připojeného servomotoru

4.2 Zapojení pracoviště

Dalším krokem bylo zapojení osobního počítače, frekvenčního měniče Sinamics S120 a synchronního servomotoru 1FK7. Pro komunikaci mezi osobním počítačem a frekvenčním měničem bylo využito rozhraní PROFINET, ale k dispozici je i sériový port RS232. Napájecí napětí 230V je přivedeno přímo na svorky výkonového prvku PM340, odkud je přes PM-IF rozhraní napájena řídicí jednotka CU310-PN umístěná přímo na výkonovém modulu a synchronní motor 1FK7 připojený na svorky U2 a V2. Pro získávání dat ze synchronního motoru bylo využito rozhraní DRIVE-CLiQ, svorkovnice X100 na řídicí jednotce.



Obr.27 Schéma zapojení komponentů



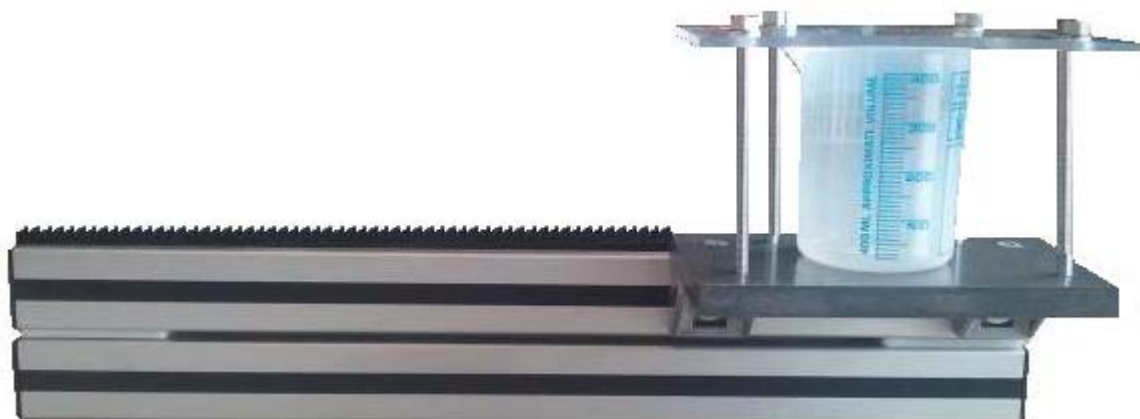
Obr.28 Schéma zapojení laboratorního pracoviště

4.2.1 Mechanismus pro translační pohyb

Dřevěnou desku s instalovaným frekvenčním měničem Sinamics S120 a synchronním servomotorem 1FK7 jsem měl již k dispozici, proto důležitým krokem k dalšímu postupu bylo upravení pohonu na translační pohyb a navržení mechanismu pro přepravu otevřené nádoby s tekutinou. K úpravě pohonu na translační pohyb jsem využil komponent od společnosti Bosch Rexroth, která nabízí velkou škálu stavebnicových prvků a komponent vhodných například pro montážní linky. Vzhledem k bezpečnosti byla nádobka s tekutinou upevněna pevně k pojezdovému mechanismu a pořízena krytem z průhledného plexiskla.

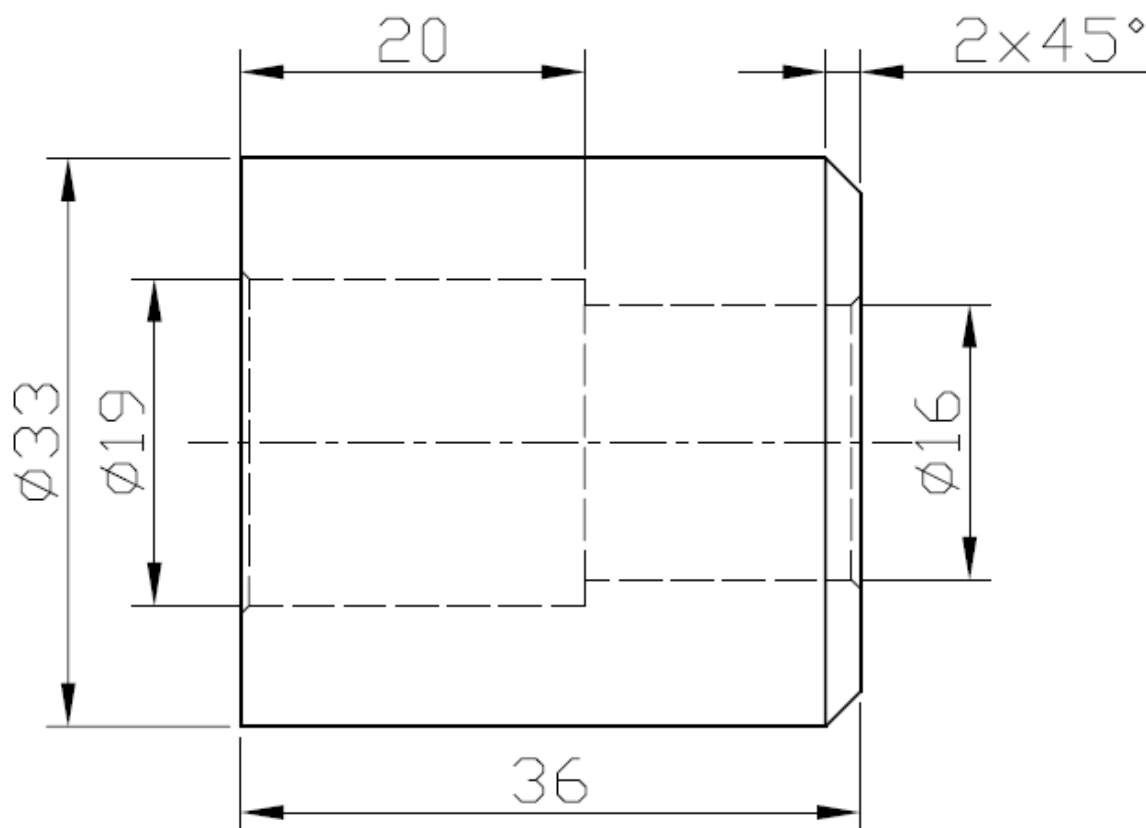
Seznam použitých komponent pro mechanismus translačního pohybu:

Materiál	Rozměr	Počet
Profil AL	45x45; l=550	2
Krytka profilů	10x550	4
Krytka konců profilu	45x45; t=4	4
Kladívková matice	M8 19.6x10	4
Podložka	9x20x2	4
Šroub se zápusťnou hlavou	M8x35	5
Posuvník	39x27.6x5	2
Šroub s čochkovou hlavou	M6x30	6
Hřebenový posuvník	62.8x20; z=10	9
Hřebenový pastorek	28.4x50; z=12	5
Úhelník	40x40x40	2
Kladívkový šroub	M8 19.6x10x16	2
Matice s podložkou	M8x20	2
Polykarbonátová deska	120x200x15	1
Šroub se zápusťnou hlavou	M6x30	2
Podložka	6.6x20x1	2
PMMA krycí deska	120x200x5	1
Závitová tyč	M8x140	4
Podložka	8.5x15x1	4
Matice	M8	4



Obr.29 Sestavený mechanismus translačního pohybu

Po sestavení všech prvků uvedených v seznamu komponent pro mechanismus translačního pohybu, bylo nutné propojit posuvný mechanismus s vývodovou hřídelí synchronního motoru 1FK7. Jelikož vývodová hřídel motoru má průměr 19mm a ozubený pastorek 16mm, bylo nutné vyrobit redukci ke spojení obou dvou částí Obr.30.



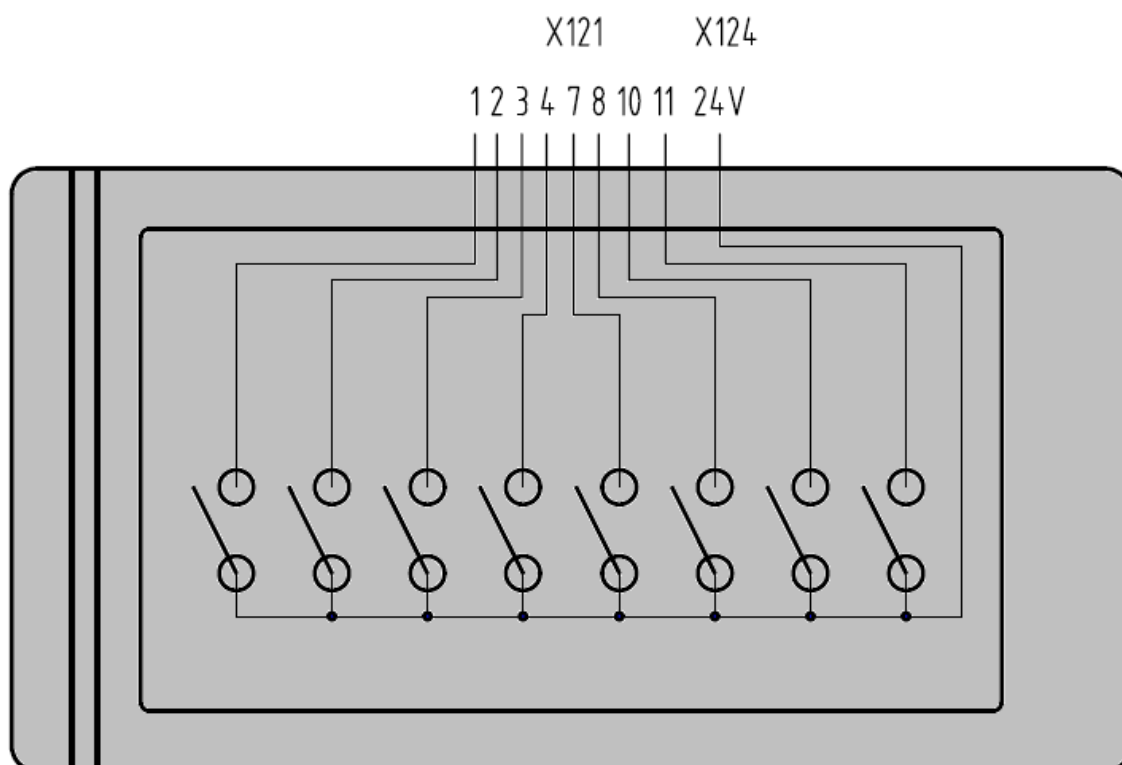
Obr.30 Redukce motoru a ozubeného pastorku

4.2.2 Ovládací panel zařízení

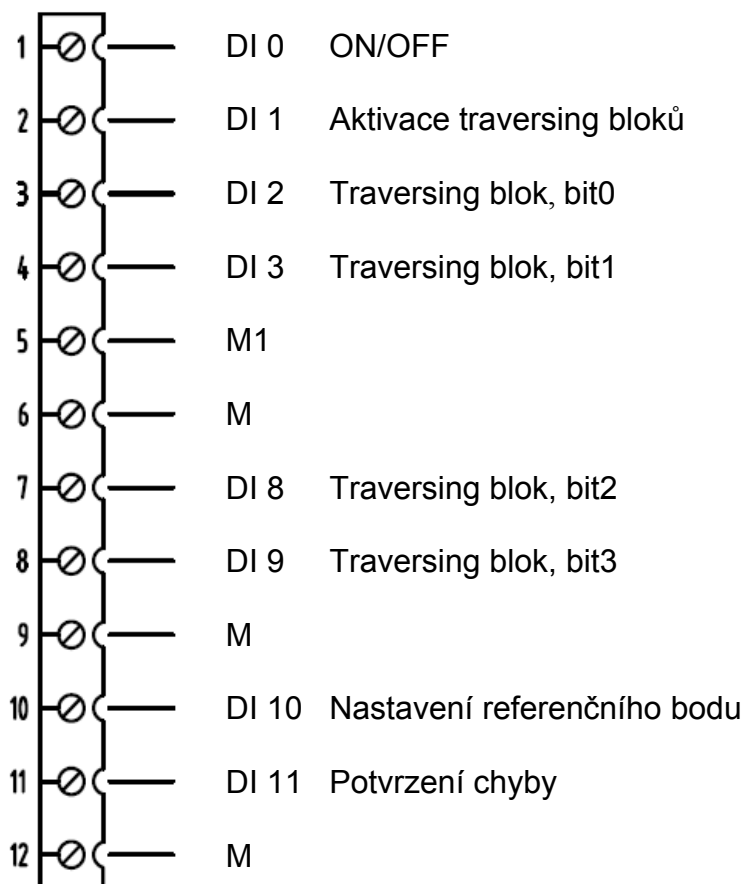
Po instalaci mechanismu pro translační pohyb bylo nutné vyřešit ovládání frekvenčního měniče bez možnosti použití PC nebo PLC. Pomocí PC pouze nahrát program do paměťové karty a po odpojení PC ovládat celé zařízení samostatně. V tomto případě připadaly v úvahu dvě možnosti.

Jako první jsem řešil ovládání frekvenčního měniče pomocí operátorského panelu BOP20. Pomocí panelu BOP20 šlo pouze měnit otáčky nikoliv však polohu pohonu.

Proto jsem přistoupil k další možnosti a to bylo ovládání frekvenčního měniče pomocí parametrizovatelných vstupů umístěných na svorkovnici X121. K tomuto ovládání však bylo nutné vyrobit malý ovládací panel s přepínači Obr.31. Abychom mohli správně spouštět jednotlivé vstupy, bylo nejprve nutné připojit na svorkovnici X124 napájecí napětí 24V DC. K tomuto účelu bylo využito zdroje 24V DC SITOP power 10 od společnosti Siemens, který jsem upevnil také na základní desku. Dále bylo nutné pro aktivaci parametrizovatelných vstupů propojit na svorkovnici X121 zemnicí svorky M a M1. Zemnicí svorky M jsou interně propojené ke svorkovnici X124, proto stačilo propojit pouze svorky 5 a 6 na svorkovnici X121.



Obr.31 Schéma zapojení ovládacího panelu



Obr.32 Zapojení jednotlivých tlačítek na svorkovnici X121 a označení funkce

Funkce jednotlivých přepínačů:

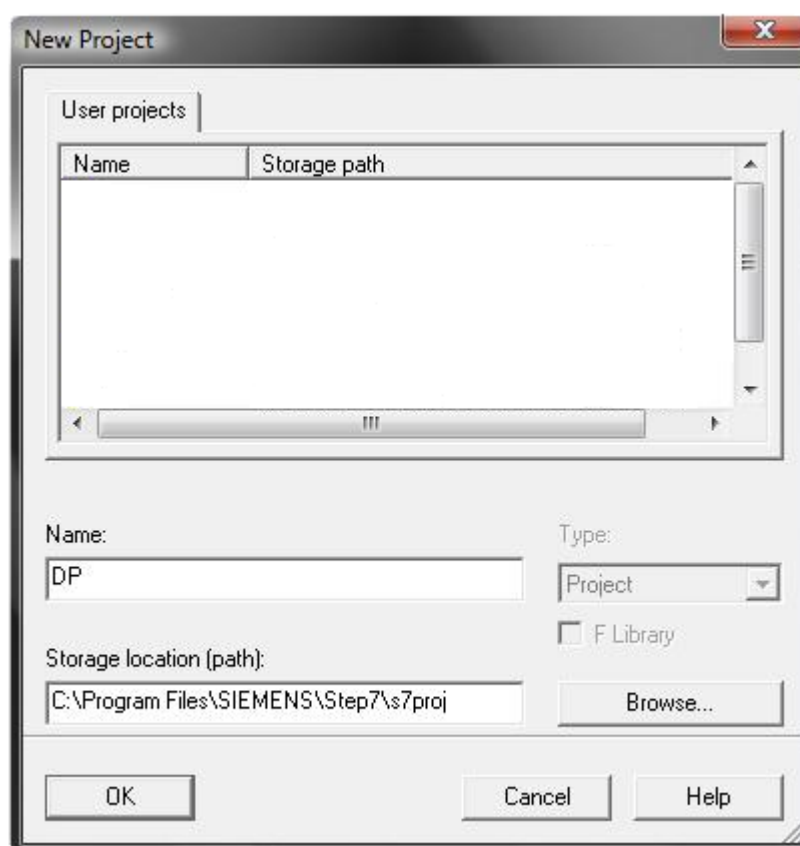
- ON/OFF – zapne nebo vypne pohon.
- Aktivace traversing bloků – aktivuje zvolenou binární kombinaci přepínačů DI 2 – DI 3. Není-li žádný z těchto přepínačů aktivní, pak je na vstupu binární 0 a program běží od prvního řádku. Zvolíme-li například binární 4 (0010) pak bude aktivován pouze přepínač DI 8 a program poběží od 5 řádku editační tabulky Traversing Blocks.
- DI 10 – slouží k nastavení referenčního nulového bodu.
- DI 11 – potvrzení (vymazání) případné chyby.

4.3 Uvedení pohonu do provozu


4.3.1 Konfigurace pohonu

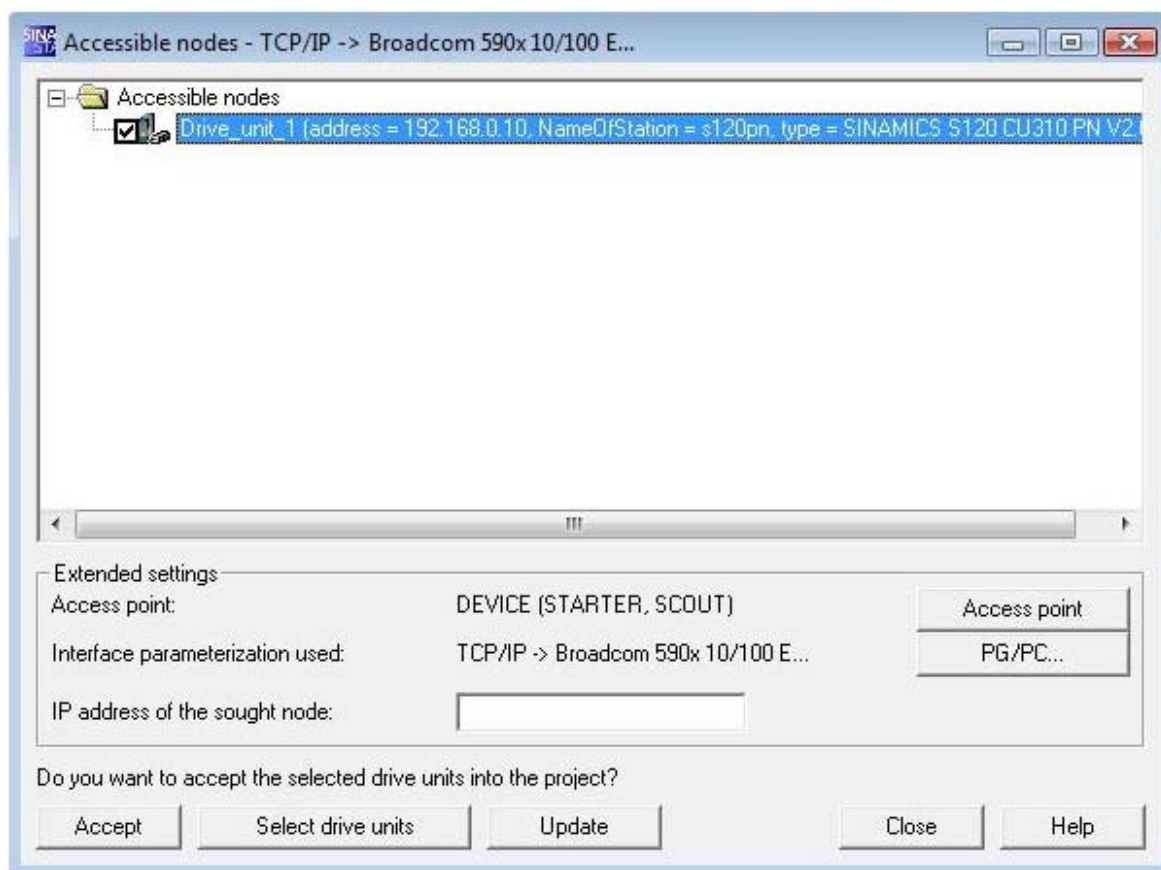
Konfiguraci řídicí jednotky a výkonové části lze provést dvěma způsoby. Buď manuálním výběrem při vytváření nového projektu, kde se postupuje krok za krokem. Tento proces je velmi zdlouhavý a je zde velká možnost vytvoření chyby při nastavování parametrů. Další možnost je automatické nakonfigurování, kdy si program STARTER sám stáhne připojenou jednotku včetně nastavení.

Vytvoříme si nový projekt například s názvem DP a uložíme. Tím se nám vytvoří požadovaný nový projekt, který je však prázdný.



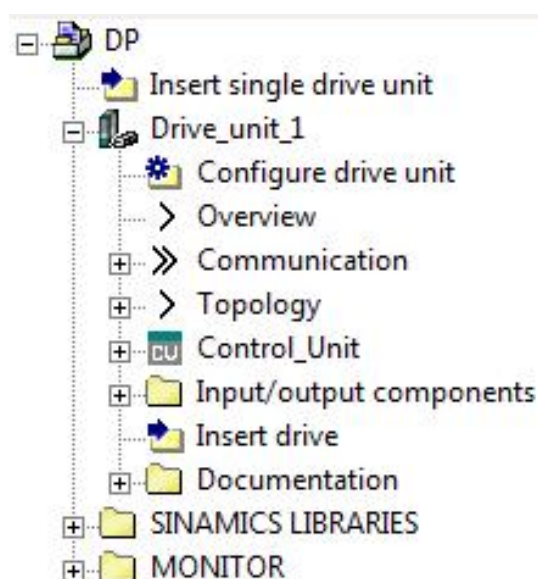
Obr.33 Vytvoření nového projektu s názvem DP

Dalším krokem je načtení přístupových uzlů stiskem tlačítka  „Accessible Nodes“ z nabídky nástrojů na liště. Tím se nám načtou všechny dostupné řídicí jednotky včetně přístupových IP adres, označení a typu řídicí jednotky. Program STARTER si sám vybere připojené rozhraní, proto není potřeba nic nastavovat. Zde stačí zaškrtnout nalezenou řídicí jednotku a pokračovat přes tlačítko „Accept“.





Obr.34 Načtení řídicí jednotky SINAMICS S120 PN

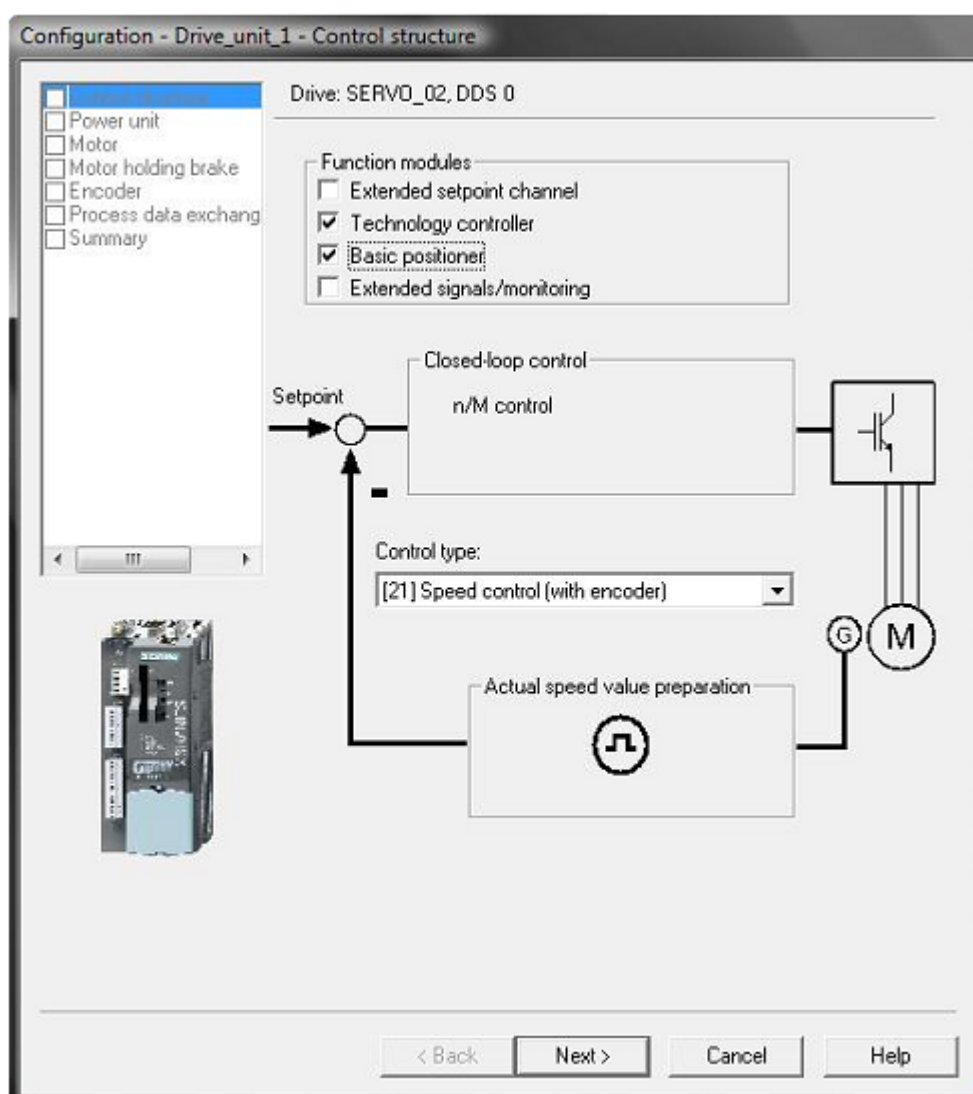
V levé části programu STARTER se zobrazí načtená řídicí a kontrolní jednotka obsahující rozbalovací menu pro komunikaci, Expert List a menu pro parametrizování vstupů a výstupů.



Obr.35 Struktura projektu v programu STARTER

Nyní se lze přepnout do Online režimu . Tímto tlačítkem se nám aktivují další funkce na nástrojové liště, jako jsou například nahrání parametrů do řídicí jednotky, stažení parametrů z řídicí jednotky, nebo obnovení do továrního nastavení přes tlačítko  „Restore factory settings“. Nyní máme jistotu, že řídicí jednotka i vytvořený projekt jsou čisté a připravené k automatické konfiguraci. Tu spustíme kliknutím na „Automatic Configuration“ v nabídce řídicí jednotky Drive_unit_1. Tím se nám automaticky nastaví propojení mezi řídicí jednotkou a připojeným pohonem označeným SERVO_02.

Abychom mohli kontrolovat a měnit pozice pohonu, provedeme ještě jednu dodatečnou manuální konfiguraci připojeného pohonu SERVO_02. Zde označíme „Technology controller“ a „Basic positioner“ jinak ostatní parametry ponecháme, protože jsou už načteny z automatické konfigurace. Tuto dodatečnou konfiguraci však musíme provádět v Offline režimu.



Obr.36 Konfigurační menu připojeného servomotoru SERVO_02

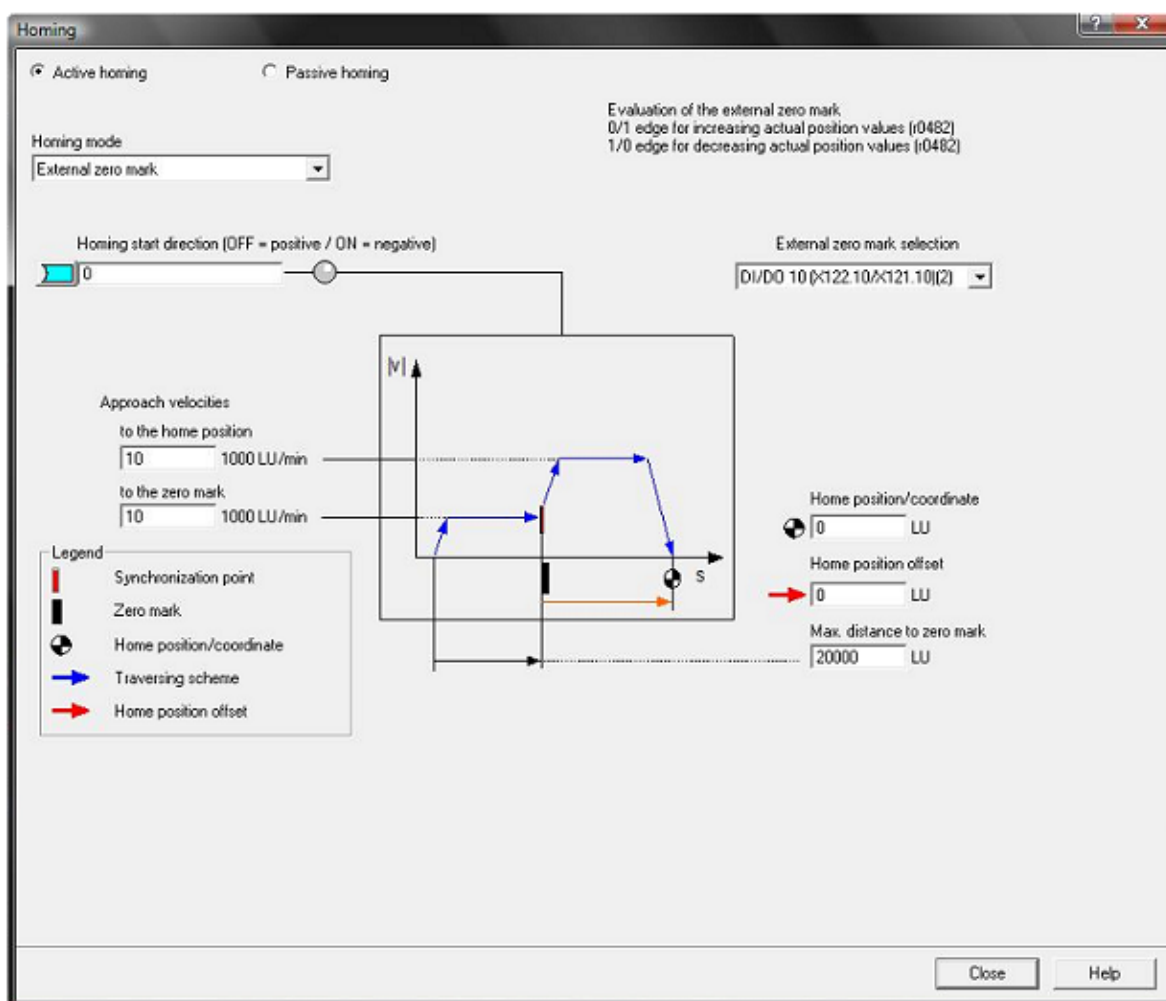
4.3.2 Nastavení ovládacích parametrů

Před parametrizováním ovládacích prvků je nezbytné nastavit některá bezpečnostní opatření, aby nám mechanismus pro přepravu nádoby neodjel mimo hranice dané konstrukcí mechanismu. Nejprve je tedy nutné nastavit výchozí nulovou polohu. Externí snímač, kterým bychom signalizovali nulovou polohu, nemáme k dispozici, proto využijeme digitálního vstupu a přepínače na ovládacím panelu.

Nulovou polohu nastavíme, tak, že mechanismus pro translační pohyb nastavíme do základní polohy. V tuto chvíli se nám na kontrolním panelu v programu STARTER zobrazuje nějaká hodnota. Tuto hodnotu je potřeba nastavit do nuly. V projektu DP, v programu STARTER, ve složce „Technology“ a ve složce „Basic positioner“ se nachází funkce „Homing“. Po jejím zobrazení můžeme nastavit parametry pro nulovou hodnotu.

Zde potřebujeme nastavit parametry pro digitální vstup. V „Homing mode“ zvolíme „External zero mark“ a z „External zero mark selection“ vybereme digitální vstup pro přepínač číslo 7 – DI/DO 10(X122.10/X121.10). Dále si zde můžeme nastavit parametry rychlosti nebo vzdálenosti do základní polohy.

Na závěr je nutné námi zvolený signál přivést i na vstup „Set reference point“ ve funkci „Homing“. Zde zvolíme parametry řídicí jednotky r722: Bit10, který odpovídá digitálnímu vstupu DI/DO 10(X122.10/X121.10).



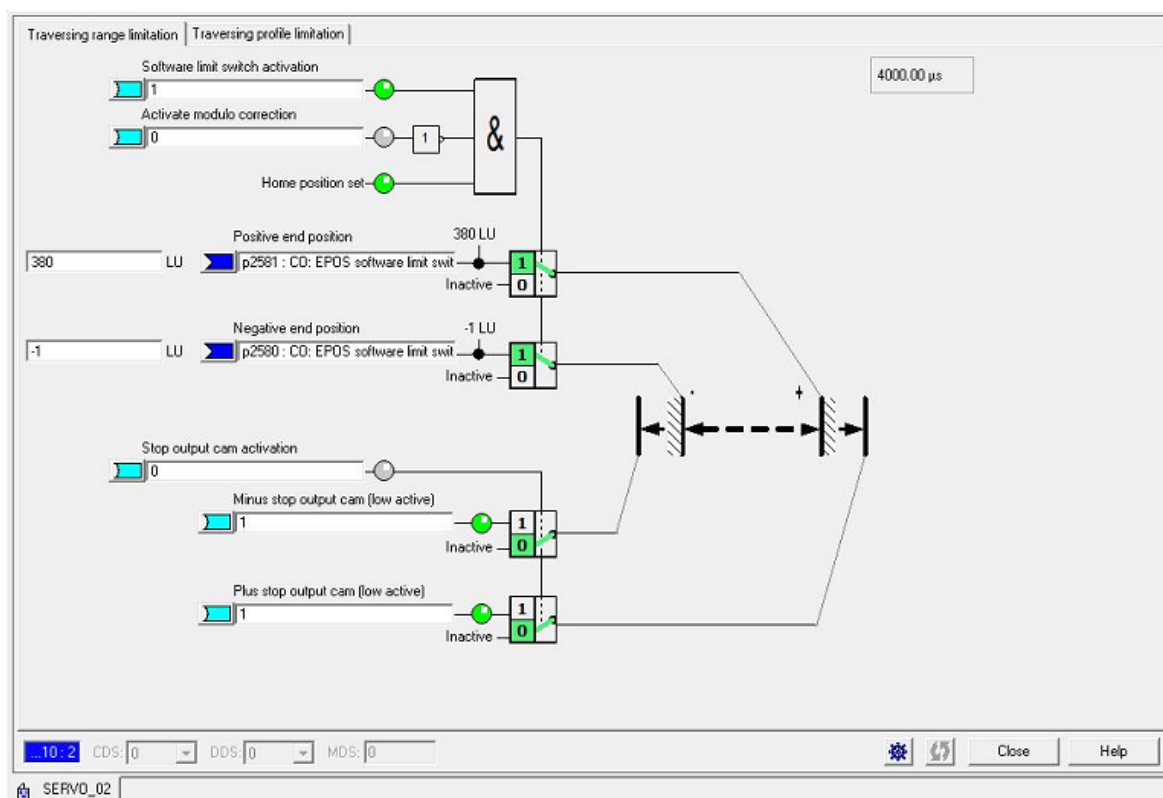
Obr.37 Nastavení výchozí nulové polohy

Po nastavení základní nulové hodnoty si můžeme v ručním režimu najet na krajní polohy. Konstrukce mechanismu umožňuje polohu 0 - 385 mm. Jelikož nejsou k dispozici koncové snímače polohy, je nutné tyto krajní meze ošetřit pomocí software.

Koncové polohy nastavíme pomocí funkce „Limit“, která se nachází v projektu DP ve složce „Technology“ a ve složce „Basic positioner“. Maximální hodnotu nastavíme na 380 LU a minimální na -1 LU.

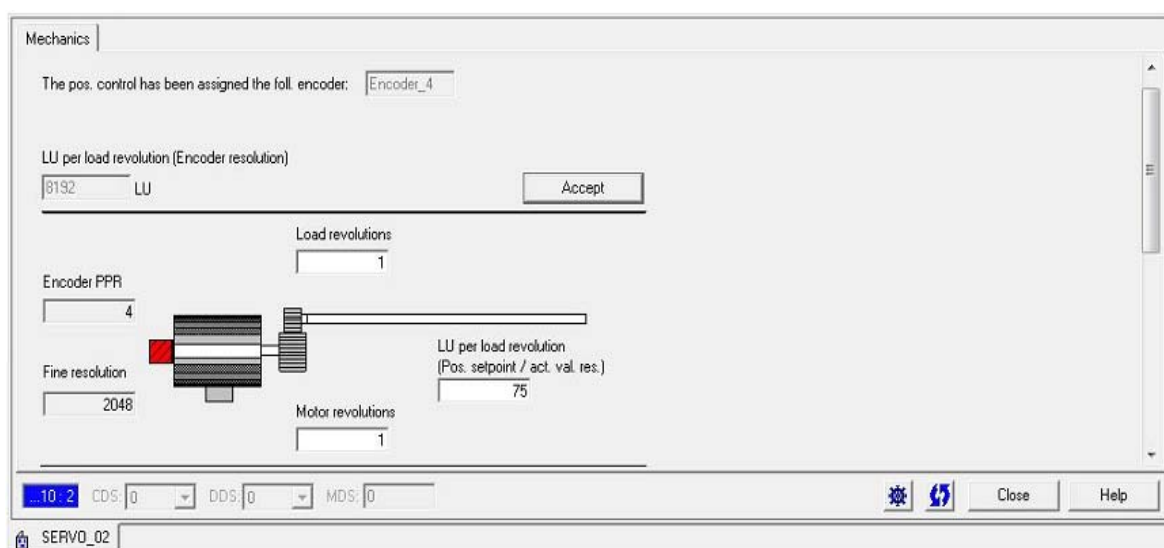
Pro správnou funkci koncových poloh je nutné aktivovat „Software limit switch activation“ na 1 a „Activate modulo correction“ na 0. Nyní, když zadáme hodnotu v „Traversing blocks“ mimo stanovený rozsah, tak se pohon vůbec nerozjede a řídicí jednotka zahlásí chybu.

Jelikož potřebujeme provozovat navržené zařízení bez připojeného osobního počítače, kde bychom mohli chybu vymazat, musíme využít přepínače číslo 8 na ovládacím panelu. Ten aktivujeme v Control_Unit ve složce „Inputs/Outputs“ na digitálním vstupu DI 11 parametrem p2103[0] Acknowledge faults.



Obr.38 Nastavení bezpečnostních koncových poloh

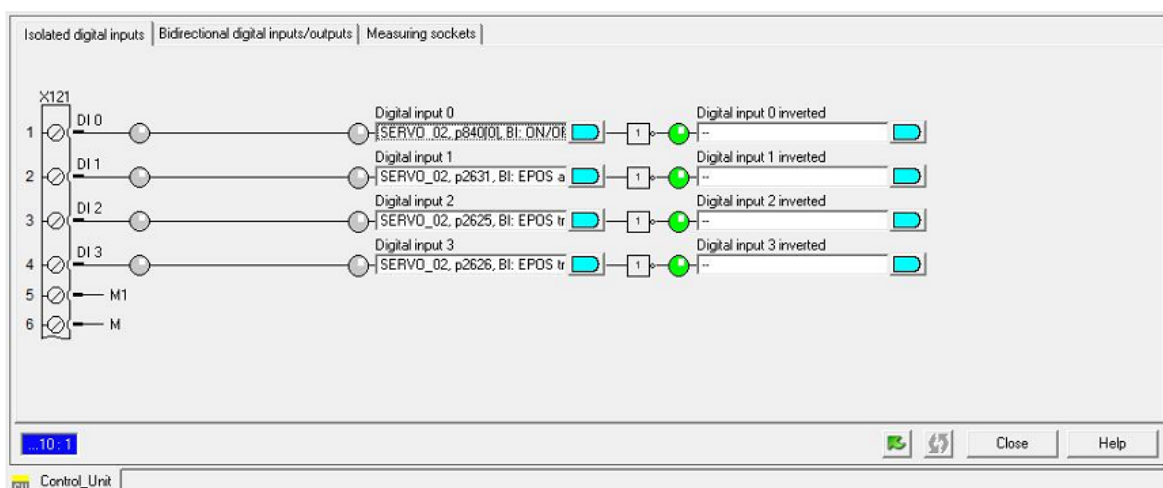
Program STARTER pracuje s jednotkami délky LU – Length Unit, které je potřeba před zadáváním hodnot polohy v tabulkovém editoru „Traversing Blocks“, upravit tak, aby odpovídaly hodnotě v milimetrech [mm]. Proto je nutné vědět kolik milimetrů je jedna otáčka. Abychom tuto hodnotu nemuseli složitě přepočítávat, tak ji zjistíme pomocí měření. Na posuvný mechanismus uděláme značku, posuneme přesně o jednu otáčku a změříme o kolik milimetrů se mechanismus posunul. V našem případě se mechanismus posunul přesně o 75mm oproti původní pozici. Tuto hodnotu zadáme do složky funkce „Mechanics“, která se nachází ve složce „Technology“ a v „Position control“.



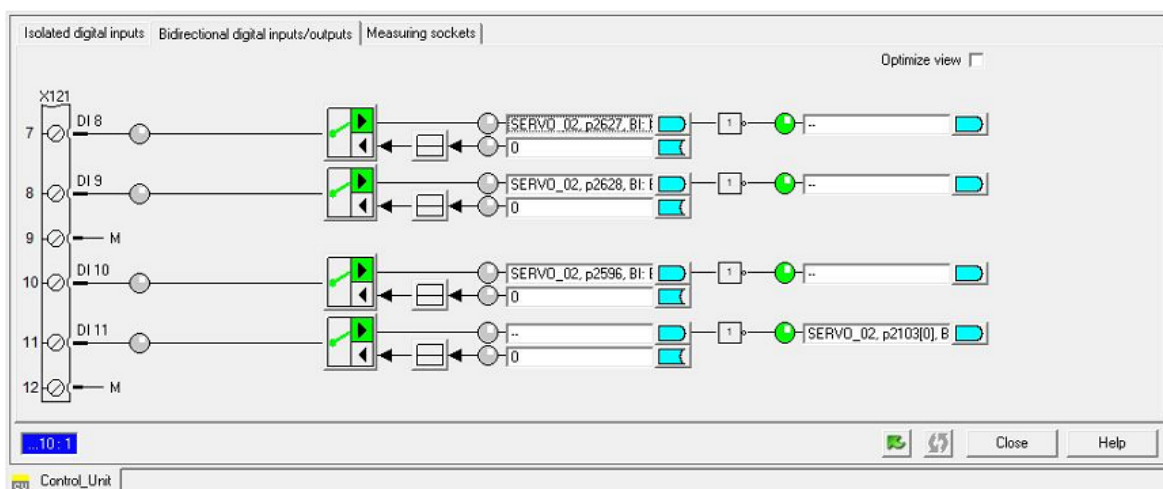
Obr.39 Funkce Mechanics pro nastavení LU na jednotku milimetry

Abychom mohli ovládat pohon pomocí ovládacího panelu a přepínačů, je zapotřebí aktivovat digitální vstupy na svorkovnici X121 na kontrolní jednotce CU310-PN v „Control_Unit“ a ve složce „Inputs/Outputs“. Z toho vstupy DI 0 – DI 3 jsou izolované a vstupy DI 8 – DI 11 jsou oboustranné a mohou sloužit jako vstupy i jako výstupy.

DI 0 ...	SERVO_02,p840[0]	BI: ON/OFF 1
DI 1 ...	SERVO_02,p2631	BI: EPOS activate traversing task (0→1)
DI 2 ...	SERVO_02,p2625	BI: EPOS traversing block selection, bit 0
DI 3 ...	SERVO_02,p2626	BI: EPOS traversing block selection, bit 1
DI 8 ...	SERVO_02,p2627	BI: EPOS traversing block selection, bit 2
DI 9 ...	SERVO_02,p2628	BI: EPOS traversing block selection, bit 3
DI 10 ...	SERVO_02,p2596	BI: EPOS set reference point
DI 11 ...	SERVO_02,p2103[0]	BI: 1. Acknowledge faults



Obr.40 Digitální vstupy



Obr.41 Digitální vstupy / výstupy

Po aktivaci digitálních vstupů v „Inputs/Outputs“ musím tyto vstupy nakonfigurovat i pro „Traversing Blocks“.

Activate traversing task (0→1)

Control_Unit,r722: Bit1 CO/BO: CU digital inputs, status: :DI 1 (X122.2/X121.2)

Trav. block selection Bit 0

Control_Unit,r722: Bit2 CO/BO: CU digital inputs, status: :DI 2 (X122.3/X121.3)

Trav. block selection Bit 1

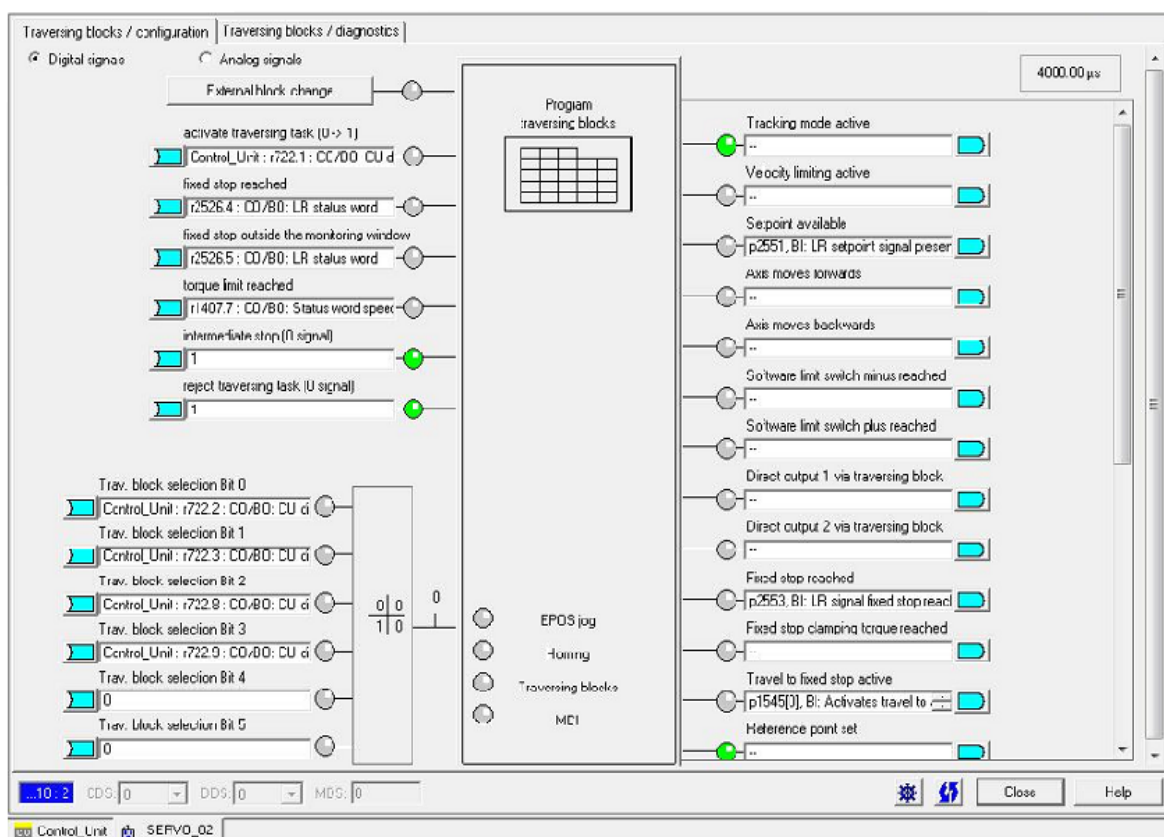
Control_Unit,r722: Bit3 CO/BO: CU digital inputs, status: :DI 3 (X122.4/X121.4)

Trav. block selection Bit 2

Control_Unit,r722:Bit8 CO/BO: CU digital inputs, status: :DI/DO 8 (X122.7/X121.7)

Trav. block selection Bit 3

Control_Unit,r722:Bit9 CO/BO: CU digital inputs, status: :DI/DO 9 (X122.8/X121.8)



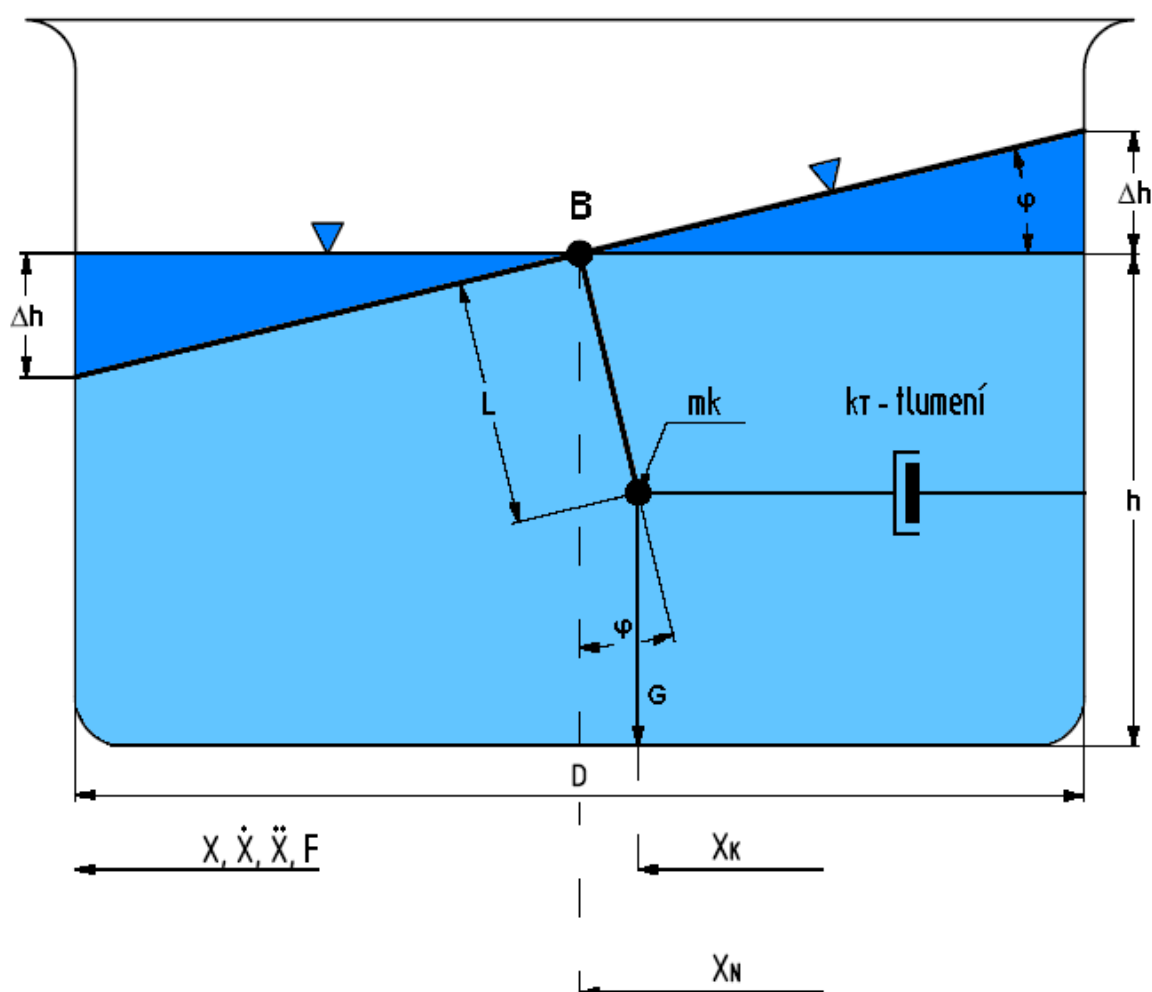
Obr.42 Konfigurace Traversing blocks

5 Laboratorní úloha

5.1 Pohyb kapaliny v nádobě

Před zahájením praktické části laboratorní úlohy je nutné znát pohyb kapaliny v nádobě při translačním pohybu. Tato vlastnost je názorně zobrazena na Obr.46. Kapalina v nádobě se pohybuje okolo osy nádoby. Rozdíl hladiny Δh při zrychleném pohybu je na obou stranách stejný a jeho velikost závisí na velikosti zrychlení.

Pro zjednodušení nahradíme celkovou hmotnost kapaliny bodem m_k o hmotnosti kapaliny a tento bod budeme fyzikálně uvažovat jako kyvadlo. Závěs kyvadla se otáčí kolem bodu B, který je umístěn na povrchu hladiny přesně uprostřed nádrže.



Obr.43 Schéma pohybu kapaliny v nádobě

$X_N(t)$ poloha nádoby

$X_k(t)$ poloha těžiště kapaliny

k_T tlumení, působící proti bodu m_k . Závisí na viskozitě a tření v kapalině.

L délka závěsu, která je kolmá k hladině

$\varphi(t)$ úhel náklonu hladiny

5.2 Rovnice sil v kapalině

Rovnice sil působící na hmotnostní bod kapaliny:

$$\Sigma F = 0$$

Síla urychlující pohyb kapaliny:

$$F_{mk} = m_k \cdot \ddot{X}_K(t)$$

Síla třecí:

$$F_T = k_T \cdot (\dot{X}_N - \dot{X}_K)$$

Síla gravitační:

$$F_g = G \cdot \varphi = m_k \cdot g \cdot \frac{(X_N - X_K)}{L}$$

Délka závěsu:

$$L = \frac{h}{2}$$

Náklon hladiny:

$$\varphi(t) = \frac{X_N(t) - X_K(t)}{L}$$

Rozdíl hladin:

$$\Delta h = \frac{D}{2} \cdot \varphi(t)$$

Výchozí rovnice sil v kapalině:

$$-m_k \cdot \ddot{X}_K(t) + k_T \cdot (\dot{X}_N - \dot{X}_K) + m_k \cdot g \cdot \frac{(X_N - X_K)}{L} = 0$$

Výchozí rovnice sil v kapalině po úpravě:

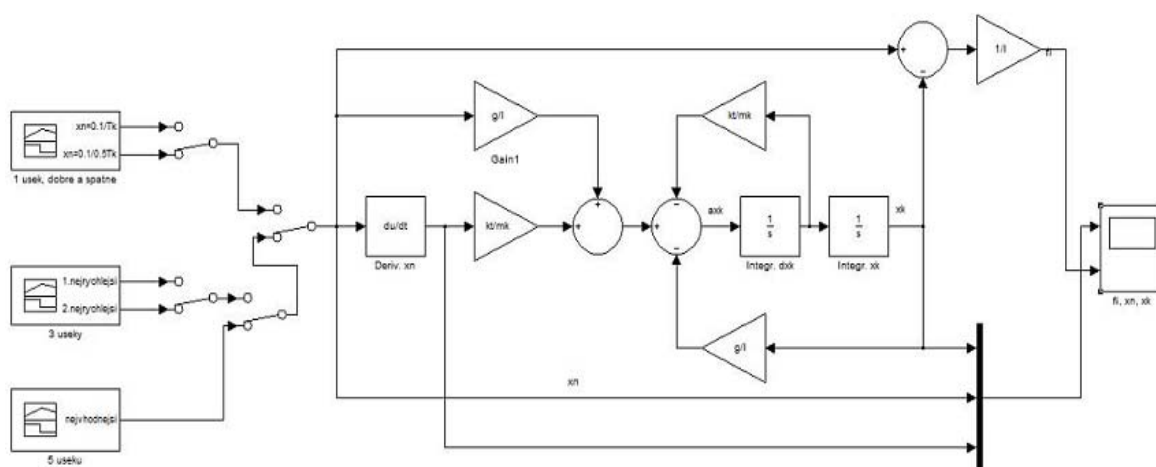
$$\ddot{X}_K(t) = -\frac{k_T}{m_k} \cdot \dot{X}_K(t) - \frac{g}{L} \cdot X_K(t) + \frac{k_T}{m_k} \cdot \dot{X}_N(t) + \frac{g}{L} \cdot X_N(t)$$

5.3 Simulace pohybu nádoby v programu MATLAB

Výslednou rovnici sil v kapalině po úpravě namodelujeme do simulačního programu MATLAB.

Nejdříve však musíme definovat vstupní parametry:

- hmotnost nádoby při stanoveném objemu 350ml, $m_k=0,350\text{kg}$
- výška hladiny při stanoveném objemu 350ml, $h=83\text{mm} \Rightarrow L=0,0415\text{m}$
- dráha nádoby $X_N=350\text{mm}$
- tření kapaliny stanoveno experimentálně, po 5kyvech je poloviční amplituda kyvu, $kT=0,25$
- simulacemi zjištěna doby kyvu $T_k=0,4089\text{s}$
- tíhové zrychlení $g=9,81\text{m/s}^2$



Obr.44 Blokové schéma výsledné rovnice sil v programu MATLAB

Pro názornost jsem simuloval průběh kapaliny v nádobě pro jeden úsek polohy nádoby XN jako špatný a druhý jako dobrý.

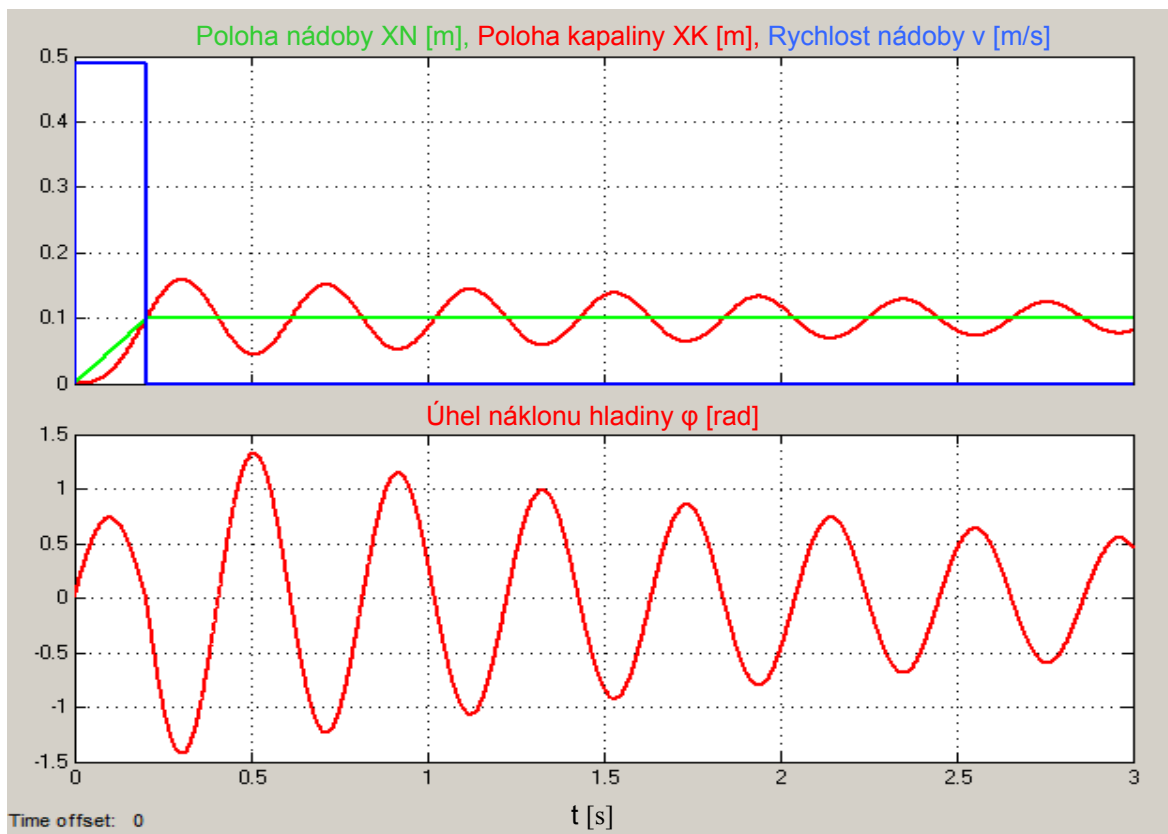
Další simulaci jsem realizoval se třemi úseky polohy nádoby pro nejrychlejší možný pohyb kapaliny.

Abychom mohli simulované úlohy realizovat pomocí námi sestaveného laboratorního pracoviště s měničem frekvence Sinamics S120 a synchronního servomotoru, musíme zadávat do tabulkového editoru „Traversing Blocks“ polohu a rychlost. Tato rychlost však musí být zadávána v jednotkách 1000LU/min. Proto je musíme přepočítat.

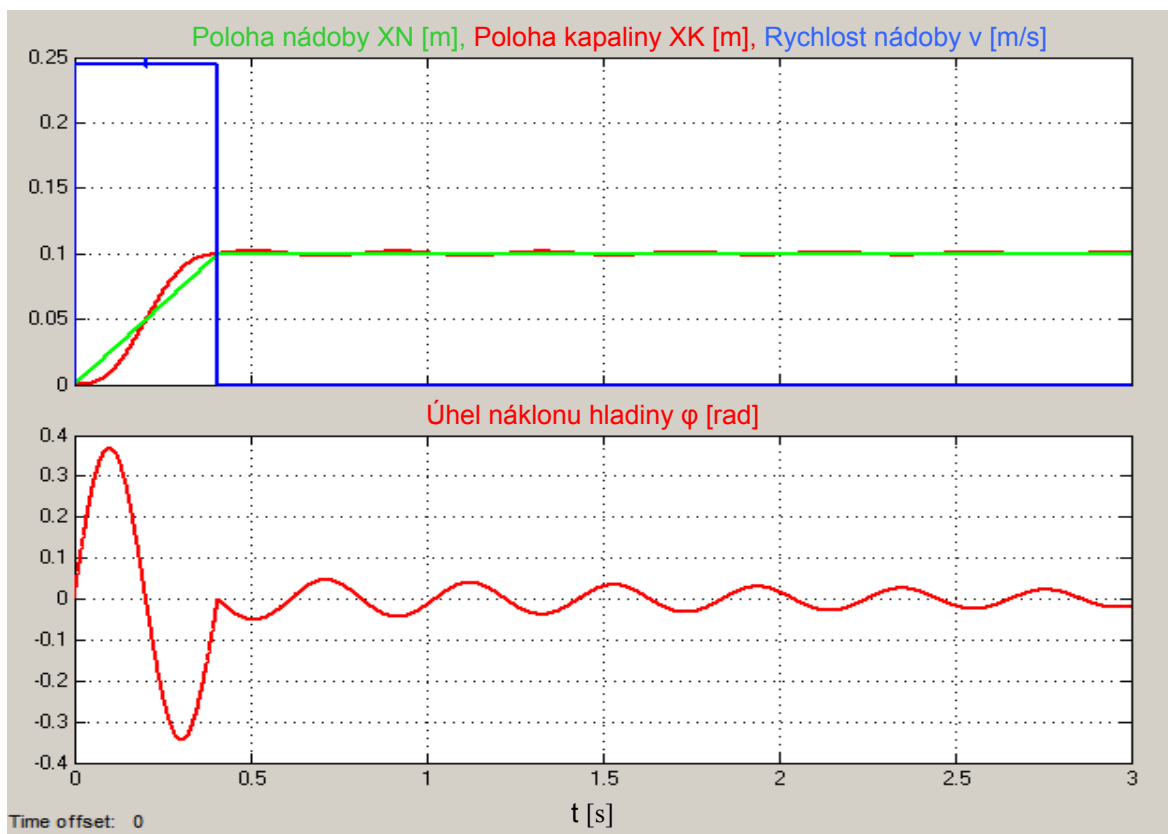
$$v=1000\text{LU}/\text{min} \Rightarrow 16.667\text{mm}/\text{s}$$

Vzdálenost mezi jednotlivými úsekem 1 a 3 je 4x delší. Rozdělení dráhy 350mm na tři úseky zrychlení:

1. první úsek ve vzdálenosti $0,350/6=0,058\text{m}$
2. druhý úsek ve vzdálenosti $0,058*5=0,292\text{m}$
3. třetí úsek ve vzdálenosti $0,350*1=0,350\text{m}$



Obr.45 Průběh kapaliny v nádobě 1 rychlost / špatné nastavení



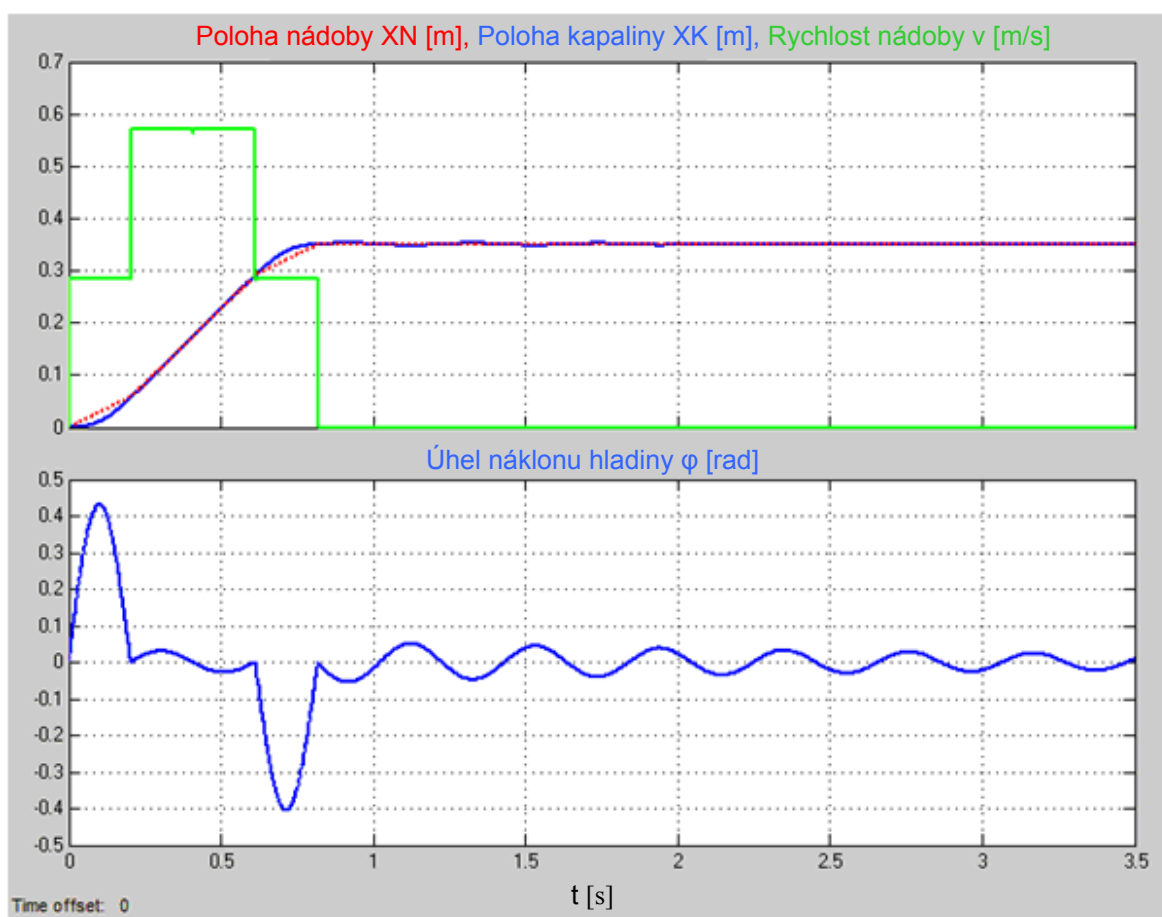
Obr.46 Průběh kapaliny v nádobě 1 rychlost / dobré nastavení

5.4 Příklady pohybů nádoby s kapalinou

Pro rychlý způsob přepravy nádoby s kapalinou bylo potřeba využít periody kmitu hladiny a další impuls zrychlení přidat v okamžiku, kdy se vlna hladiny vracela zpět. Proto rozdělíme pohyb nádoby do tří úseků a k nim vypočítáme rychlost pro daný úsek.

1. Nejrychlejší možný případ pohybu nádoby se 3-mi úseky

Doba periody	[Tk]	0	0,5	1,5	2		
Čas	[s]	0	0,2045	0,6134	0,8178		
Poloha XN	[m]	0	0,0580	0,2920	0,3500		
Rychlost v	[m/s]	0	0,2837	0,5723	0,2837		
Rychlost v	[1000LU/min]	0	17	34	17		



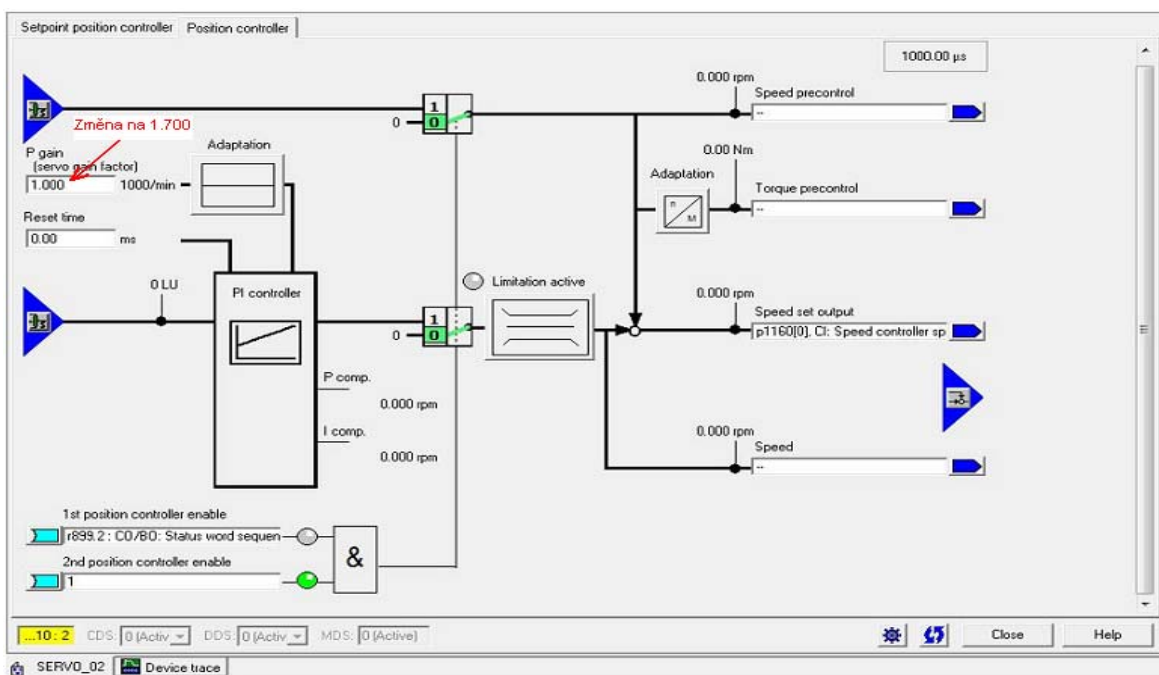
Obr.47 Nejrychlejší možný případ pohybu nádoby v simulaci se 3-mi úseky

Po zadání vypočítaných dat do programu STARTER a tabulkového editoru „Traversing Blocks“ můžeme sledovat skutečný průběh rychlostí v zadaných úsecích pomocí funkce osciloskopu.



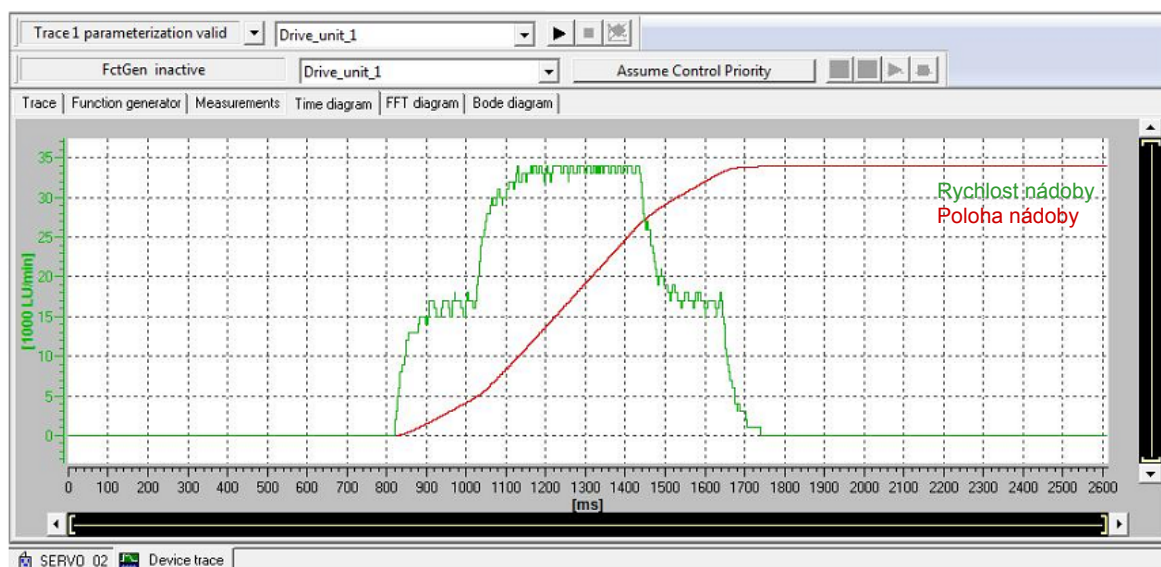
Obr.48 Nejrychlejší možný případ pohybu nádoby v programu STARTER

Ze zobrazeného průběhů rychlostí je patrné, že zrychlení a zpomalení na požadovanou rychlost v dané pozici je pomalé, i když v tabulkovém editoru nastavíme zrychlení i zpomalení na 100%. Proto bylo nutné nastavit větší faktor zesílení P zesilovače Obr.49. Tato hodnota je v základním nastavení 1.000. Při nastavení na hodnotu 2.000 bylo zrychlení už moc prudké a ustálení na požadované rychlosti nestabilní. Experimentálně jsme došli k hodnotě zesílení 1.700.



Obr.49 Nastavení P zesilovače

Po nastavení optimální hodnoty P zesilovače 1.700 už bylo zrychlení i zpomalení rychlejší a více se blížilo vstupním parametrům zadávaných do simulace v programu MATLAB.



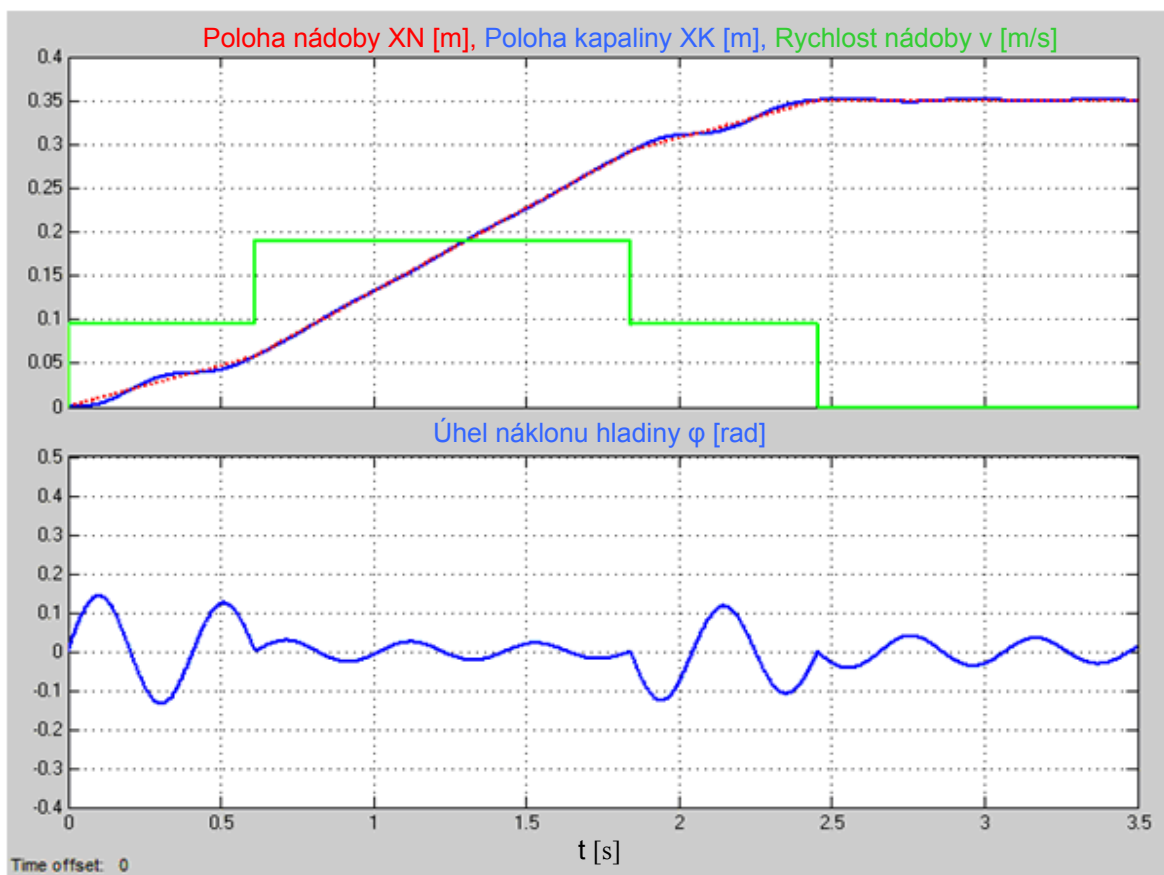
Obr.50 Nejrychlejší možný případ pohybu nádoby v programu STARTER se zesílením 1.700

I přes větší nastavení hodnoty P zesilovače je patrné, že zrychlení i zpomalení v daných úsecích není ideální. Tato odchylka je dána tím, že rovnice sil v kapalině je částečně zjednodušena o tření v kapalině, které je určeno experimentálně a viskozitu kapaliny.

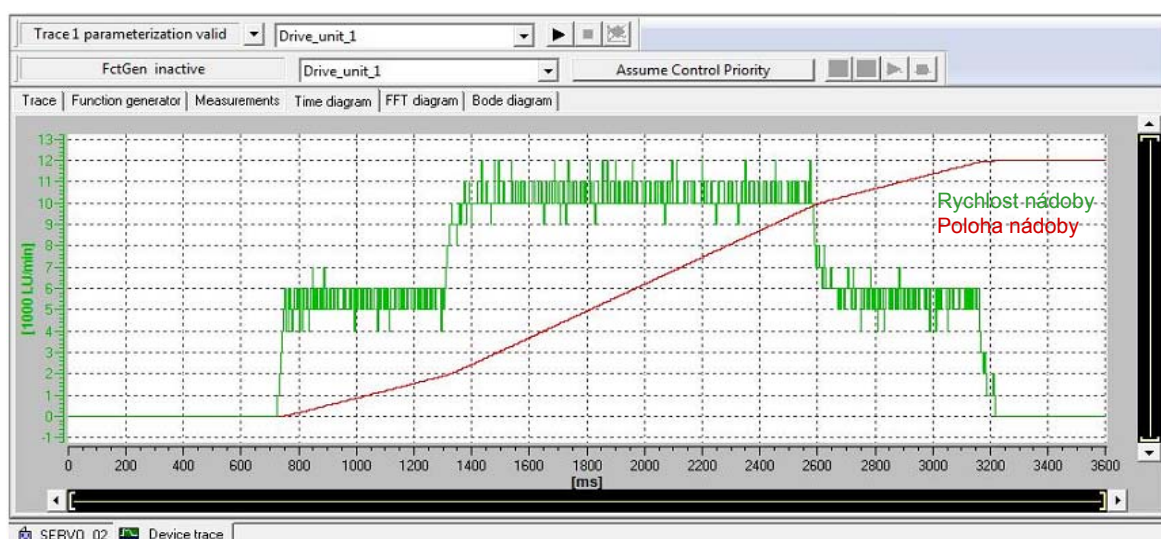
Tato první metoda je nejrychlejší možný způsob přepravy nádoby s kapalinou při využití 3 impulzů. Z polohy 0 do polohy 350mm přepravíme nádobu za čas 0,92[s] a s vychýlením hladiny 0,43[rad] = 24,6[°]. Při zrychlení dojde k maximálnímu možnému vychýlení hladiny a v okamžiku, kdy se má hladina odražená od protější strany vracet, dodáme další impuls ke zrychlení. V kapalině sice dochází ke kmitání hladiny, ale pouze v maximální možné míře tak, aby nedošlo k vylití kapaliny, nebo ke kontaminaci víka nádoby.

2. Pomalejší případ pohybu nádoby se 3-mi úseky (3krát pomalejší)

Doba periody	[Tk]	0	1,5	4,5	6		
Čas	[s]	0	0,6134	1,8401	2,4534		
Poloha XN	[m]	0	0,0580	0,2920	0,3500		
Rychlost v	[m/s]	0	0,0946	0,1902	0,0946		
Rychlost v	[1000LU/min]	0	6	11	6		



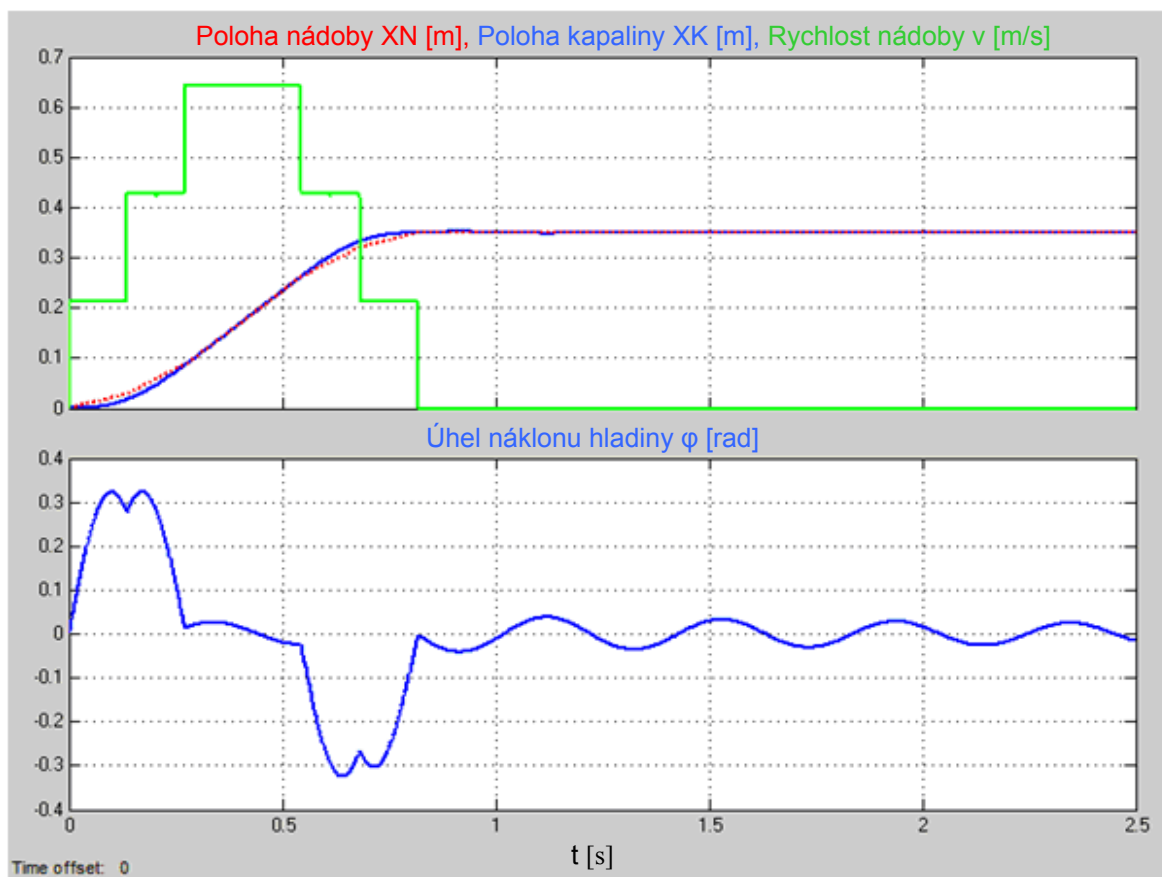
Obr.51 Pomalejší možný případ pohybu nádoby v simulaci se 3-mi úseky



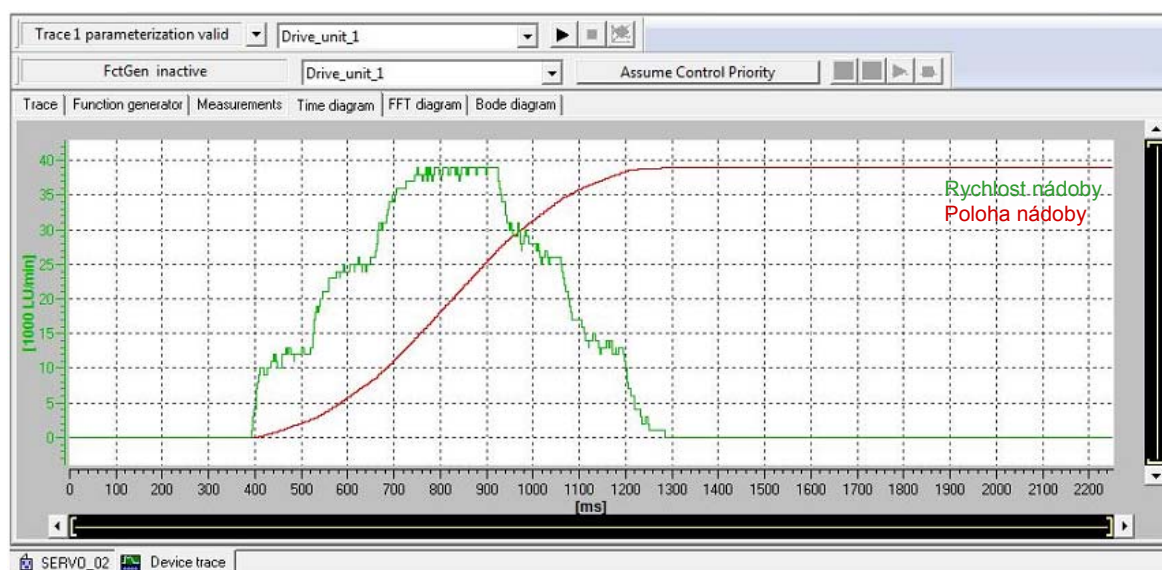
Obr.52 Pomalejší možný případ pohybu nádoby v programu STARTER

3. Nejrychlejší možný případ pohybu nádoby s 5-ti úseky

Doba periody	[Tk]	0	0,33	0,67	1,33	1,67	2,00
Čas	[s]	0	0,1363	0,2726	0,5452	0,6815	0,8178
Poloha XN	[m]	0	0,029	0,088	0,263	0,321	0,350
Rychlost v	[m/s]	0	0,2140	0,4280	0,6420	0,4280	0,2140
Rychlost v	[1000LU/min]	0	13	26	39	26	13



Obr.53 Nejrychlejší možný případ pohybu nádoby v simulaci s 5-ti úseky



Obr.54 Nejrychlejší možný případ pohybu nádoby v programu STARTER

Ze simulace i výsledků měření pomocí osciloskopu vyplývá, že je výhodnější použít více impulzů zrychlení. Tím dosáhneme za stejný čas 0,92[s] stejné délky přepravy nádoby 350mm, ale s menším úhlem náklonu hladiny $0,33[\text{rad}] = 18,9[^\circ]$. Je to způsobeno tím, že využíváme větší rychlosti a častěji přivádíme impulz v době vracení hladiny kapaliny a tím hladinu více stabilizujeme.

6 Závěr

Cílem této diplomové práce byla laboratorní ukázka dynamického pohonu pro přepravu nádoby s kapalinou za použití synchronního servomotoru 1FK7 a měniče frekvence Sinamics S120, která by se pak dala použít při laboratorních cvičeních. Dalším úkolem bylo navržení ovládní pohonu bez připojeného osobního počítače, nebo PLC. Zde proto připadaly v úvahu dvě možnosti. Ovládní pomocí BOP panelu, které se ukázalo pro ovládní polohy jako nevhodné, nebo využít digitálních vstupů na řídicí jednotce. K tomu však bylo nutné vyrobit ovládací zařízení s přepínači a obstarat zdroj napájení 24V.

Nejsložitější při realizaci projektu bylo seznámit se s programem STARTER, který vzhledem k velké škále podporujících produktů je velice obsáhlý.

Dalším složitým úkolem bylo seznámit se s problematikou pohybu kapaliny v nádobě a vlastnostmi kyvů hladiny.

Pro názornou ukázku byly do paměťové karty řídicí jednotky nahrány tři programy se zrychleným pohybem, které jsou detailněji popsány v kapitole 5. Na závěr je nutné podotknout, že se jedná o ovládní, nikoliv o regulaci pohonu. Abychom mohli uvažovat o regulaci systému, museli bychom do zpětné vazby použít údaje o hladině. Například z vysokorychlostní kamery.

Tato metoda řízení dynamického pohybu se dá použít v praxi například u dopravníků, kde je kladen velký důraz na produktivitu a mezi plnicí stanicí a lepící stanicí, kde dojde k uzavření nádoby, je malý prostor. Jinak je výhodnější pro plnění nádob například hvězdicové plnění, nebo posuvné plnění, které se pohybuje rovnoměrně s dopravníkem a zároveň plní několik nádob najednou.

Seznam použité literatury

- [1] WIKIPEDIE, *Ward Leopardovo soustrojí* [online], 05.09.2014, [cit. 2015-02-23]. Dostupné z:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Ward_Leonardovo_soustroj%C3%AD>
- [2] EATON, *Elektronické spouštěče motorů a pohony* [online], 2009, [cit. 2015-02-23]. Dostupné z:
<<http://www.eatonelektrotechnika.cz/priruckazapojeni/drives079.html>>
- [3] POHONNATECHNIKA, *Princip – Frekvenční měnič s pulzně šířkovou modulací* [online], 2007-2015, [cit. 2015-02-23]. Dostupné z:
<<http://www.pohonnatechnika.cz/frekvencni-menice/princip-frekvencniho-menice/princip-pwm-menice>>
- [4] ROZKOŠNÝ, Miroslav. *Experimentální pracoviště řízeného pohonu s vysokou dynamikou*. Brno, 2013, Diplomová práce na Fakultě strojního inženýrství-Ústav automatizace a informatiky, Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeněk Němec, CSc.
- [5] ELEKTROPRUMYSL, *Energeticky úsporné řízení frekvenčními měniči* [online], 2015, [cit. 2015-02-27]. Dostupné z:
<<http://www.elektroprumysl.cz/pohony-menice-a-energetika/energeticky-usporne-rizeni-frekvencnimi-menici>>
- [6] EATON ELEKTROTECHNIKA, *Frekvenční měniče SLX, SVX a SPX* [online], 2010, [cit. 2015-03-01]. Dostupné z:
<http://www.eatonelektrotechnika.cz/produkty-prumyslove_instalace-spinani_pohonu-frekvencni_menice_svx_spx>
- [7] FRECON, *Frekvenční měniče FRECON v modernizovaných pantografech Českých drah* [online], 2015, [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <<http://www.frecon.cz/menice-pro-ceske-drahy>>
- [8] SIEMENS, *Nízkonapětové měniče SinamicsS120* [online], 2015, [cit. 2015-03-07]. Dostupné z:
<<http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=507f00e632>>
- [9] NOKTA Industrial, *Automation Systéme* [online], 2009, [cit. 2016-01-04]. Dostupné z:
<<http://www.noktaindustriyel.com/eng/ProductDetails.html?MLFB=6SL3210-1SB14-0AA0&PageNo=C&PageName=Design>>
- [10] Siemens s.r.o. AG [PDF dokument], 2011, [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:
<http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/technika_pohonu/motory/servomotory/synchronni_servomotory/1fk7/brochure_1fk7_2010_cz.pdf>
- [11] SIEMENS AG, *SINAMICS MICROMASTER STARTER* [online], 2009-2016. Dostupné z:
<<https://support.industry.siemens.com/cs/document/26233208/sinamics-micromaster-starter?dti=0&lc=en-WW>>

Příloha

Tabulkový editor „Traversing Blocks“ s nastavenými parametry všech tří úloh nahraných na paměťové kartě.

Index		Job	Parameter	Mode	Position	Velocity	Acceleration	Deceleration	Advance	Hide
1	0	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	10	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
2	1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	58	17	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
3	2	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	292	34	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
4	3	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	350	17	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
5	4	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	350	17	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
6	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	10	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
7	5	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	58	6	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
8	6	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	292	11	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
9	7	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	350	6	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
10	8	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	350	6	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
11	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	10	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
12	9	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	29	13	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
13	10	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	88	26	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
14	11	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	263	39	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
15	12	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	321	26	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
16	13	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	350	13	100	100	CONTINUE_FLYING (2	<input type="checkbox"/>
17	14	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	350	13	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
18	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	10	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
19	15	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	2	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
20	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
21	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
22	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
23	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
24	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
25	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
26	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
27	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
28	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>
29	-1	POSITIONING	0	ABSOLUTE (	0	600	100	100	END (0)	<input type="checkbox"/>

Popis funkcí jednotlivých přepínačů a volba programů podle bitů:

1	ON/OFF	zapnutí pohonu
2	PROG	spuštění programu
3	BIT 0	} Volba bitů
4	BIT 1	
5	BIT 2	
6	BIT 3	
7	ZERO	nastavení nulové polohy
8	ERROR	potvrzení chyby
0	0000	spustí program číslo 1 (index 1 – 5)
1	0001	
2	0010	
3	0011	
4	0100	
5	0101	spustí program číslo 2 (index 7 – 10)
6	0110	
7	0111	
8	1000	
9	1001	spustí program číslo 3 (index 12 – 17)
10	1010	
11	1011	
12	1100	
13	1101	
14	1110	
15	1111	nájezd do nulové polohy (index 19)