

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra elektrotechniky a automatizace



Technické aplikace řízení frekvenčního měniče

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Miloslav Linda, Ph.D.

Autor práce: Bc. David Černý

Praha 2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. David Černý

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Technické aplikace řízení frekvenčního měniče

Název anglicky

Technical Application frequency converter

Cíle práce

Cílem práce je realizace úlohy řízení motoru frekvenčním měničem v jednotlivých režimech provozu s využitím PLC systému s možností vizualizace.

Metodika

Provedení rozboru možností řízení pohonů v několika režimech. Realizace praktické úlohy s vizualizací.

Doporučený rozsah práce

60 stran, bez příloh

Klíčová slova

frekvenční měnič, PLC, HMI, programování

Doporučené zdroje informací

Bělohoubek, P. – Elektrické servopohony, jejich řízení a aplikace, ICB, Brno, 1998, 90 stran, ISBN 80-902175-4-0

Elprim. MICROMASTER 420, [cit 03.01.2017]

http://http://www.elprim.cz/navody/Siemens_MM420/MM420_strucny_cz.pdf

Roubíček, O. Elektrické motory a pohony, BEN technická literatura, Praha 2004, 192 stran, ISBN 80-7300-092-X

ZDĚNEK, J. – PAVELKA, J. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA. *Elektrické pohony a jejich řízení*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04642-5.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Miloslav Linda, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 17. 1. 2017

prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 24. 02. 2019

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Technické aplikace řízení frekvenčního měniče vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne:

Podpis

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Miloslavovi Lindovi, Ph.D. za odborné vedení a trpělivost, a to jak u tvorby této diplomové práce, tak v průběhu výuky. Poděkování patří i mé rodině a zejména manželce, která mě podporovala po celou dobu mého studia.

Technické aplikace řízení frekvenčního měniče

Abstrakt: Cílem této diplomové práce je navrhnout a zrealizovat aplikaci řízení asynchronního motoru frekvenčním měničem s vizualizací. V teoretické části je definován pojem elektrický pohon a stručně charakterizován asynchronní motor s klecovým rotorem. Následující části jsou věnovány popisu frekvenčních měničů, způsobů řízení rychlosti otáčení a je zde uvedeno několik metod řízení otáčivé rychlosti asynchronních motorů. Praktická část je zaměřena na návrh a realizaci aplikace vybrané metody. Metoda byla následně aplikována na navrhnuté a zrealizované sestavě elektrického pohonu s využitím vizualizace rozhraní člověk – stroj. Aplikace je provedena formou provozuschopné praktické úlohy nasazené na sestavě elektrického pohonu.

Klíčové slova: elektrický pohon; frekvenční měnič; grafický displej

Technical application frequency converter

Summary: The aim of this thesis is to design and implement application of asynchronous motor control by frequency converter with visualization. The theoretical part defines the term electric drive and briefly characterizes the asynchronous motor with cage rotor. The following sections describe frequency converter, rotational speed control methods, and several methods for controlling the rotational speed of asynchronous motors. The practical part is focused on the design and implementation of the selected method. The method was subsequently applied to the designed and implemented electric drive assembly using the human – machine interface visualization. The application is carried out in the form of an operational practical task deployed on the electric drive assembly.

Key words: electric drive; frequency converter; graphic display

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce	3
3	Metodika	4
4	Teoretická východiska	5
4.1	Elektrický pohon.....	7
4.1.1	Vlastnosti elektrického pohonu.....	7
4.1.2	Rozdělení elektrických pohonů.....	8
4.2	Asynchronní motor	11
4.2.1	Motor s klecovým rotorem.....	13
4.3	Řízení otáčivé rychlosti asynchronních motorů.....	13
4.3.1	Řízení rychlosti změnou napájecí frekvence.....	14
4.4	Měniče frekvence.....	20
4.4.1	Přímý měnič frekvence	22
4.4.2	Nepřímý měnič frekvence s proměnným napětím v meziobvodu	22
4.4.3	Nepřímý měnič frekvence s konstantním napětím v meziobvodu.....	23
4.4.4	Skalární metoda řízení.....	24
4.4.5	Vektorově orientovaná metoda regulace.....	25
4.4.6	Nepřímá metoda s čidlem rychlosti rotoru.....	26
4.4.7	Nepřímá metoda s využitím měření napětí	27
4.5	Programovací a komunikační části měničů	29
4.6	Rozhraní člověk – stroj	30
5	Praktická část práce.....	33
5.1	Koncepce řešení praktické části.....	33
5.2	Návrh řešení praktické části.....	37
5.2.1	Návrh elektrického zapojení	37

5.2.2	Návrh mechanického uspořádání	38
5.2.3	Návrh praktické úlohy	39
5.2.4	Návrh vizualizace	40
5.3	Realizace řešení praktické části	44
5.3.1	Realizace mechanického uspořádání.....	45
5.3.2	Realizace elektrického zapojení	45
5.3.3	Realizace nastavení parametrů frekvenčního měniče	47
5.3.4	Zprovoznění praktické úlohy	50
5.4	Ověření správné funkce praktické úlohy	50
5.5	Návod na obsluhu sestavy elektrického pohonu.....	55
5.6	Návrh na laboratorní úlohu do cvičení	56
6	Závěr	57
7	Seznam použité literatury	58
8	Seznam obrázků	60
9	Seznam příloh.....	62

1 Úvod

V minulých desetiletích došlo k výraznému posunu v oblasti vývoje a dostupnosti výpočetní techniky, komunikačních technologií a výkonové elektroniky. Rozvoj těchto oblastí a dostupnost prostředků z nich vycházejících zasáhl v dobrém slova smyslu i elektrotechnická a energetická zařízení uplatněná v mnoha sférách lidské činnosti. Jedním z těchto zařízení je i elektrický pohon, se kterým přišel do styku přímo či nepřímo snad každý z nás. Elektrické pohony jsou součástí například elektrických dopravních prostředků, výtahů, zařízení k čerpání vody atd. Další oblastí, která byla tímto vývojem pozitivně zasažena je oblast řešící rozhraní člověk – stroj. V minulosti byla hojně využívána mechanická tlačítka, signální návěští – tzv. signálky a ručičkové, případně digitální ukazovací přístroje. A právě rozmach ve výše uvedených oblastech způsobil v podstatně většině jejich nahrazování za např. dotykové grafické displeje. Grafické dotykové displeje jsou schopné plnohodnotně nahradit tlačítka, signálky a ukazovací přístroje.

Základní teoretické minimum pro pochopení a vysvětlení pojmu elektrický pohon a jeho elementárních součástí popisuje kapitola 4. Pozornost je věnována zejména rozboru pojmu elektrický pohon, jeho výhodám proti nevýhodám a rozdělení elektrických pohonů. Následující kapitola 4.2 se zabývá bez většího detailu charakteristikou asynchronního motoru a jednou z jeho konstrukčních variant. V kapitole 4.3 jsou uvedeny možnosti řízení otáčivé rychlosti asynchronních motorů se zaměřením na řízení rychlosti změnou napájecí frekvence. Kapitola 4.4 je zaměřena na frekvenční měniče z pohledu konstrukčního řešení ve výkonové části přístroje. Detailněji jsou prozkoumány a popsány metody regulace. V předposlední kapitole teoretické části jsou uvedeny komunikační a programovací možnosti současných frekvenčních měničů. A poslední kapitola 4.6 teoretického rozboru se zabývá historií a současností v oblasti vizualizace rozhraní člověk – stroj.

Kapitola 5 je věnována popisu řešení zadaného cíle, kterým je realizace úlohy řízení motoru frekvenčním měničem. Při řešení praktické úlohy bylo využíváno poznatků z teoretické části diplomové práce. Kapitoly jsou členěny chronologicky tak, jak byly jednotlivé etapy realizovány. Kapitola 5.1 popisuje dva možné koncepty řešení zadaného cíle a vysvětluje důvod vybraného konceptu řešení praktické části. Stádiem návrhu všech částí řešení praktické úlohy se zabývá kapitola 5.2. Na část návrhu navazuje kapitola 5.3 zaměřená na vlastní provedení a odzkoušení praktické úlohy. Výstupy z praktické části jsou

dva. Prvním výstupem je sestava elektrického pohonu (asynchronní motor, frekvenční měnič, grafický displej). Tato sestava v budoucnu poslouží jako výuková pomůcka pro rozvoj praktických znalostí v oblastech konfigurace a ovládání frekvenčních měničů pomocí grafických panelů. Druhým výstupem je realizace praktické úlohy na téma řízení asynchronního motoru frekvenčním měničem v jednotlivých režimech provozu (rozběh, doběh) s využitím vizualizace. Kapitola 5.4 popisuje postupy a výsledky ověření správné funkce praktické úlohy realizované na sestavě. Návod na obsluhu sestavy elektrického pohonu je uveden v kapitole 5.5. Návrhem laboratorní úlohy do cvičení se zabývá kapitola 5.6.

Dosažených výsledků a naplnění cíle diplomové práce je shrnuto v kapitole 6.

2 Cíl práce

Cílem této diplomové práce je prostudovat problematiku řízení elektrického pohonu a jeho součástí:

- asynchronní motor,
- frekvenční měnič,
- rozhraní člověk – stroj.

Na základě získaných teoretických poznatků:

- navrhnout řešení praktické části,
- realizovat řešení praktické části,
- zprovoznit praktickou úlohu,
- ověřit správnou funkci praktické úlohy,
- navrhnout laboratorní úlohu do cvičení.

Cíl práce bude naplněn formou realizace sestavy elektrického pohonu, na kterou bude aplikována praktická úloha. Téma praktické úlohy je řízení motoru frekvenčním měničem v jednotlivých režimech provozu s využitím vizualizace.

3 Metodika

Pro provedení analýzy možností řízení elektrických pohonů v jednotlivých režimech provozu a realizace praktické úlohy s vizualizací je potřebné učinit následující kroky:

V teoretické části si osvojit:

- 1) Výchozí teorii elektrických pohonů.
- 2) Možnost řízení otáček asynchronního motoru změnou napájecí frekvence.
- 3) Konstrukční charakteristiky frekvenčních měničů.
- 4) Metody regulace otáček frekvenčním měničem.
- 5) Programovací a komunikační možnosti frekvenčních měničů.
- 6) Základní zásady pro tvorbu vizualizace.

Na základě zjištěných charakteristik v praktické části uskutečnit:

- 1) Návrh konceptů řešení praktické části.
- 2) Návrh elektrického zapojení přístrojů v sestavě.
- 3) Návrh praktické úlohy.
- 4) Návrh vizualizace praktické úlohy na grafickém panelu.
- 5) Realizaci sestavy elektrického pohonu.
- 6) Konfiguraci frekvenčního měniče.
- 7) Zprovoznění praktické úlohy na sestavě.
- 8) Ověření správné funkce praktické úlohy.
- 9) Vytvoření návodu na obsluhu.

4 Teoretická východiska

Do jaké míry je společnost nebo region rozvinut lze posuzovat z různých hledisek a podle různých kritérií. Takovým kritériem pak může být i průměrná spotřeba elektrické energie na osobu v žijící v dané oblasti. Pro využívání elektrické energie hovoří nejenom množství dostupných tzv. primárních zdrojů potřebných pro výrobu, ale i možnosti distribuce elektrické energie mezi elektrárnou jakož to výrobním závodem a odběratelem jako místem spotřeby, přičemž je technicky možné elektrickou energii přenášet na velké vzdálenosti. Další výhodou je vcelku snadná transformace na odběratelem požadovanou energii např.: mechanická, tepelná atd. [1]

Primárními zdroji pro výrobu elektrické energie jsou v současnosti fosilní paliva, mezi které patří uhlí, ropa (mazut), plyn a v neposlední řadě jaderné palivo. Proto abychom získali z těchto zdrojů elektrickou energii je nutné nejprve ji přeměnit na tepelnou energii tedy na páru o potřebných parametrech. Takto pracující elektrárny označujeme jako tepelné. U klasické tepelné elektrárny se přeměna uskutečňuje v kotlích a u jaderných elektráren v jaderném reaktoru a parogenerátoru. V elektrárnách jsou instalována soustrojí nazývaná turbogenerátory to je parní turbína a synchronní generátor na jedné hřídeli. Získaná pára následně putuje do parních turbín, kde svou energii předává. Parní turbína uskutečňuje přeměnu tepelné energie na mechanickou. Mechanická energie parní turbíny otáčí generátorem, který vyrábí elektrickou energii.[1]

Trendem současnosti je významná podpora výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Do kategorie obnovitelných primárních zdrojů spadají voda, vítr, slunce, biomasa. Výroba elektrické energie z těchto zdrojů probíhá v elektrárnách pracujících na jiném principu než elektrárny využívající fosilní paliva, přičemž to úplně neplatí pro elektrárny spotřebovávající biomasu dřevního původu. Elektrárny pracující s obnovitelnými zdroji jsou označovány jako vodní, větrné, sluneční. Co je však shodné je elektrický generátor, který vyrábí elektrickou energii. [1]

Elektrická energie vyrobená z obnovitelných nebo neobnovitelných zdrojů je v první úrovni transportována prostřednictvím přenosových soustav velmi vysokého napětí (VVN) mezi výrobním závodem tedy elektrárnou a transformační stanicí z velmi vysokého napětí na vysoké napětí (VN). V druhé úrovni je transportována distribuční rozvodnou soustavou mezi transformačními stanicemi vysokého napětí a nízkého napětí (NN) a dále ke koncovým

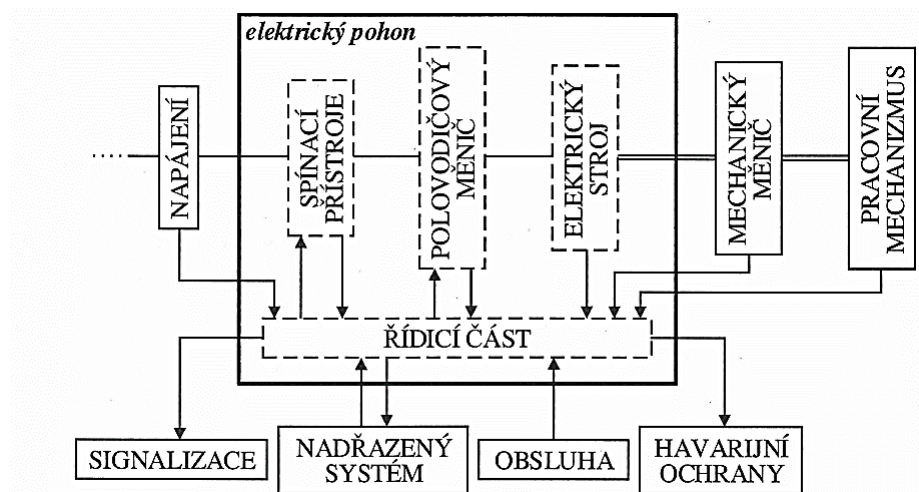
spotřebitelům. U koncových spotřebitelů následně probíhá přeměna elektrické energie na požadovanou formu energie. [1]

Historicky známým faktem je lidská snaha nahradit lidskou sílu a z ní vycházející práci. Ať už za pomoci zvířat, vody, větru a páry. S objevem elektrické energie a následujícího rozvoje využití elektrické energie v reálných podmínkách byla nalezena možnost využít elektrickou energii jako hybnou sílu pro zařízení, ve kterých byla využívána pro pohon jiná forma energie. Díky tomuto objevu vznikl vědecký obor zabývající se transformací energie elektrické na mechanickou a naopak. Tento technický obor byl pojmenován elektrické stroje. S rozvojem na první pohled nesouvisejícím oboru polovodičových součástek byla nalezena možnost jejich využití i v oblasti silnoproudých zařízení. Jedná se o různé typy měničů, ve kterých je polovodičových součástek využíváno. Charakteristickou vlastností polovodičových součástek je tzv. bezkontaktní spínání. Tímto charakteristickým rysem je umožněna změna parametrů elektrické energie. Polovodičové součástky umožňují bezkontaktní přeměnu mezi různými formami elektrické energie, tímto tématem se zabývá obor – výkonová elektronika. Vývoj polovodičových součástek ovlivnil také obor řídicí techniky zejména rozvoj mikroprocesorů. Poznatky a výsledky z vývoje mikroprocesorů byly aplikovány také do výkonových měničů, čímž se jejich užitná hodnota navýšila o funkce dříve dostupné jen pro řídicí systémy např.: část zpracovávající různé druhy vstupních nebo výstupních signálů, část vykonávající uživatelsky definovaný program, PID regulátory, ochranné obvody, část realizující komunikační rozhraní apod. Další oblastí, která zasáhla rozvoj výkonových měničů je oblast čidel. Rozvoj čidel používaných pro měření elektrických a ostatních veličin doplnil výkonové měniče o potřebnou měřicí aparaturu. Obor elektrické pohony je založen na kombinaci znalostí z výše uvedených oborů a jejich vhodnou aplikací pro přeměnu elektrické energie na energii mechanickou. [1]

4.1 Elektrický pohon

S rozvojem v oborech výkonové elektroniky, řídicí techniky a snímačů, který je pospán v předchozí kapitole. Došlo k zásadnímu ovlivnění oboru elektrickým pohonů. V minulosti byl hlavní částí elektrického pohonu elektrický motor ostatní součásti představovali nevýznamnou část. V dnešní době tomu již tak není. Základní elektricko-mechanické uspořádání elektrického pohonu je uvedeno na Obr. 1. Na základě této grafické interpretace můžeme definovat elektrický pohon: Elektrický pohon je tvořen soustavou vhodně zvolených elektrotechnických zařízení sloužící pro přeměnu elektrické energie na energii mechanickou. Zároveň poskytují tvorbu, přenos a zpracování signálů, které elektromechanickou transformaci řídí a její požadované hodnoty jsou definovány nadřazeným automatizačním prostředkem nebo obslužným personálem.[1]

Obr. 1 Základní elektricko-mechanické uspořádání el. pohonu



Zdroj: [1]

4.1.1 Vlastnosti elektrického pohonu

Níže je uveden výčet vlastností elektrického pohonu:

- je vyrobiteľný v podstatě pro jakýkoli výkon (elektrické hodinky – mW, přečerpávací elektrárny – 10^8 W),

- b) je realizovatelný pro značný rozsah momentů (hodinky – $\text{mN}\cdot\text{m}$, válcové stolice – $10^6 \text{ N}\cdot\text{m}$) a rychlostí (cementové mlýny – $\text{ot}\cdot\text{min}^{-1}$, odstředivky – $10^5 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$),
- c) je adaptibilní do různých vnějších pracovních podmínek (prostředí s nebezpečím výbuchu, možnost ponoření do různých kapalin, práce v radioaktivním prostředí),
- d) nevytváří při provozu škodlivé zplodiny imisí,
- e) provoz provází nízká hladina hluku,
- f) je skoro ihned provozuschopný,
- g) je jednoduchý na obsluhu a údržbu,
- h) charakteristiky pohonu lze snadno adaptovat různým speciálním aplikacím,
- i) dosahuje vysoké účinnosti, pracuje s nízkými ztrátami naprázdno a je možné jej krátkodobě přetížít,
- j) je schopen pracovat ve všech čtyřech kvadrantech Ω -M diagramu,
- k) má symetrický tvar rotoru a není tedy příčinou vzniku vibrací,
- l) jeho provozní životnost je dlouhá (20 i více let),
- m) je snadno konstrukčně přizpůsobitelný aplikaci (přírubové provedení, uchycení na patky). [1]
- n) jeho provozuschopnost je závislá na momentální dodávce elektrické energie ze sítě,
- o) má nízký ukazatel výkon/hmotnost v porovnání s hydraulickými pohony. [1]

4.1.2 Rozdělení elektrických pohonů

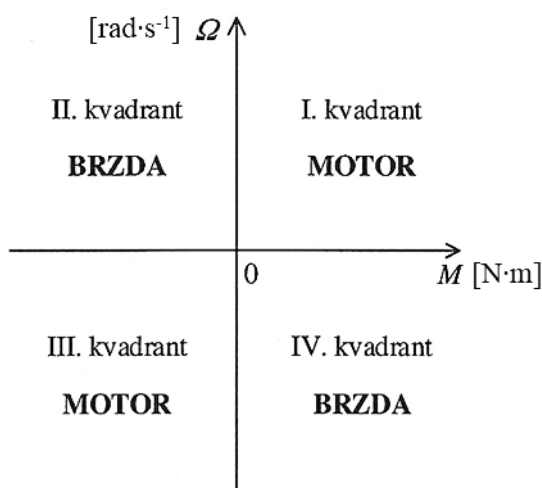
Vzhledem k převaze výhod nad nevýhodami jsou využívány elektrické pohony v širokém okruhu technických produktů a technologických zařízení. Elektrické pohony můžeme dále členit dle následujících aspektů:[1]

Elektrické pohony rozlišujeme podle typu vykonávaného pohybu na elektrické pohony s točivým a přímočarým pohybem. Značná většina mechanismů je poháněna elektrickými motory s točivým pohybem. Když je pro poháněný mechanismus nutný pohyb přímočarý, řešením je buď v mechanické části uskutečnit mechanický převod z rotačního pohybu na translační, nebo využít pro přímočarý pohyb lineárních motorů, které ze své podstaty jsou pro tento pohyb určeny přímo. [1]

Elektrické pohony odlišujeme na základě toho, jestli je pohyb spojitý nebo nespojitý. Pohony ve valné většině vykonávají pohyb spojitý. Pohony, které nevykonávají spojitý pohyb jsou například krokové motory, zařízení s kmitavým pohybem a vibrátory. [1]

Elektrické pohony můžeme také rozdělit podle toho, jak se řídí jejich rotační rychlost. Poté dělíme pohony na jedno, dvou nebo případně vícerychlostní. Dále pak ještě na pohony s plynule nastavitelnou rychlostí. Vzájemný vztah pro prezentaci vzájemné vazby mezi otáčivou rychlostí a velikostí vytvářeného momentu na hřídeli je nejlepší využít Ω - M diagram, který je uveden na Obr. 2. Na vodorovnou osu digramu vynášíme velikost momentu M [N·m] a na svislou osu diagramu úhlovou rychlost Ω [rad·s⁻¹]. Osy dělí rovinu na čtyři kvadranty, které jsou číslovány proti směru pohybu hodinových ručiček. [1]

Obr. 2 Kvadranty Ω - M diagramu



Zdroj: [1]

V kvadrantech I. a III. je součin $\Omega \cdot M$ vyjadřující mechanický výkon kladný, proto jsou kvadranty nazvané motor neboli motorické. V kvadrantech II. a IV. je součin $\Omega \cdot M$ vyjadřující mechanický výkon záporný, proto jsou kvadranty nazvané brzda čili brzdné. Pohony nejjednodušší konstrukce pracují výhradně s jedním směrem otáčení a neumožňují elektricky brzdit. Jejich pracovní bod se nalézá vždy v I. kvadrantu a jsou označovány jako jednokvadrantové pohony. Dvukvadrantové pohony jsou takové pohony, které umožňují změnit smysl momentu při jednom směru otáčení (I. a II. kvadrant), anebo naopak umožňují

změnit smysl otáčení bez možnosti změny smyslu momentu. Čtyřkvadrantovým pohonem označujeme pohon, pokud umožňuje měnit jak smysl momentu, tak i orientaci otáčení jeho pracovní bod je pak možné nalézt v jakémkoliv kvadrantu. [1]

Elektrické pohony lze rozdělovat také na základě druhu řízení. Rozeznáváme pohony s ručním řízením, když řízení pohonu zajišťuje obsluha. S automatickým řízením, když je pohon řízen na základě stavů výstupních logických signálů nadřazeného řídicího systému a s automatickou regulací, kdy je výstupní veličina (moment, rychlost, poloha) regulována na základě zadané závislosti. [1]

4.2 Asynchronní motor

Asynchronní motor je nejčastěji využívaným typem elektromotoru v elektrických pohonech. Důvody pro jeho časté nasazení jsou dobré provozní vlastnosti (maximální moment motoru, účinnost), široký výkonový rozsah (od [mW] až po [MW]) a konstrukční jednoduchost, kterou dochází ke zvýšení jeho spolehlivosti. Asynchronní motory standardního provedení jsou produkovány ve velkých výrobních sériích, což se odráží v jejich příznivé ceně. Asynchronní motory dělíme podle provedení rotoru na motory s kotvou nakrátko, kotvou kroužkovou a kotvou speciální. Asynchronní motory aplikované ve standardních pohonech pracují s přibližně konstantní rychlostí otáčení bez řízení otáček. Takovéto aplikace elektrických pohonů tvořily ještě před čtyřiceti lety asi 80 % všech aplikací. Pro kvalitní a úspornou regulaci rychlosti je potřeba zajisti napájení asynchronního motoru ze zdroje proměnného kmitočtu a napětí. Tím může být některý typ měniče výkonové elektroniky obsahující výkonovou a řídicí část. V současnosti existuje značný počet výrobců zabývajících se výrobou měničů frekvence pro asynchronní motory. Což má za následek velké konkurenční prostředí. Konkurence mezi výrobci měničů frekvence vyvolává tlak na cenu. Tím se stávají měniče frekvence dostupnější. Důsledkem je, že počet aplikací pohonů s řízením rychlosti otáčení neustále narůstá. Frekvenční měnič představuje způsob v podstatě bezztrátového řízení rychlosti, který představuje u většiny aplikací úsporu neustále se zdražující elektrické energie i možnost pro zkvalitnění technologie výroby nebo provozuschopnosti technologie výroby. [1]

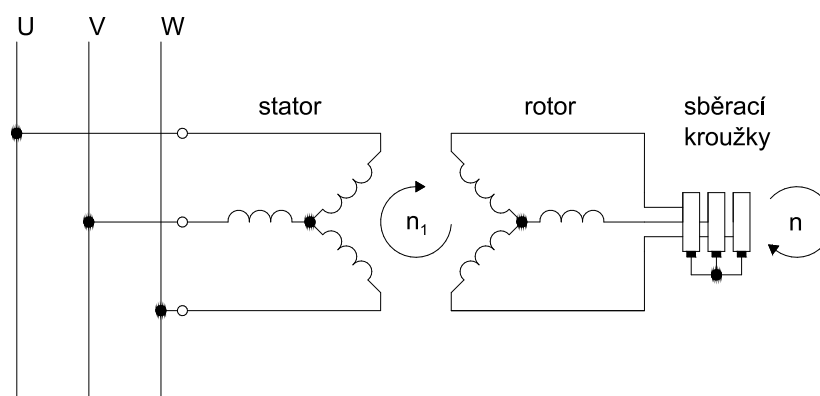
Indukční motory jsou střídavé, téměř vždy třífázové. Malé motory jsou vyráběny také jako jednofázové. Princip funkce motoru je založen na točivém magnetickém poli ve vzduchové mezeře mezi státorem a rotorem. Magnetické pole je buzeno trojfázovým vinutím uloženým ve statorových drážkách. Jednotlivá fázová vinutí (cívky) jsou proti sobě prostorově posunuty o 120° . Vinutí je napájeno ze souměrné soustavy třífázových napětí, takže jím protéká souměrná soustava proudů, které jsou mezi sebou fázově posunuty o 120° . Ta vytváří magnetické pole konstantního tvaru v prostoru, pole se otáčí synchronní rychlostí otáčení

$$n_1 = \frac{f_1}{p} \quad [\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1)$$

kde f_1 [Hz] označuje frekvenci napětí napájecího satorové vinutí a p [-] je počet pólových párů vinutí. Vloží-li se do tohoto pole rotor s podobným vinutím a se shodným počtem pólů, který je spojen nakrátko viz Obr. 3, bude se v něm indukovat napětí s frekvencí

$$f_2 = (n_1 - n) \cdot p \quad [\text{Hz}] \quad (2)$$

Obr. 3 Principiální schéma indukčního motoru



Zdroj: [2]

(je-li n [ot·min⁻¹] rychlost otáčení rotoru) a vinutím protéká souměrná soustava proudů (obdobná satorové) stejné frekvence f_2 [Hz]. Vzniká točivý moment M [N·m]

$$M = \frac{(K \cdot U_{2i} \cdot I_{1S} \cdot \cos \varphi)}{\omega} \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (3)$$

úměrný indukovanému napětí U_{2i} [V] ve vinutí stojícího rotoru, satorového proudu I_{1S} [A] a účinníku $\cos \varphi$ [-] a nepřímo úměrný úhlové rychlosti rotoru $\omega = 2\pi n$; K [-] je konstrukční konstanta uspořádání. Poměr

$$s = \frac{(n_1 - n)}{n_1} \quad [-] \quad (4)$$

je skluz s [-], který udává poměrnou změnu rychlosti otáčení rotoru vůči synchronní rychlosti otáčení magnetického pole. [2]

4.2.1 Motor s klecovým rotorem

Existují dvě označení pro toto provedení motoru, jedním je motor s klecovým rotorem a druhý motor s rotorem či kotvou nakrátko. Vinutí rotoru je tvořeno tzv. klecí, tj. tyčemi z mědi nebo hliníku, občas bývá z mosazi. Na obou stranách jsou tyče spojené kruhy ze shodného materiálu. Drážky bývají polouzavřené a různého tvaru. Provedení drážek má velký vliv na průběh točivého momentu motoru v závislosti na rychlosti otáčení a na jeho záběrový moment. [2]

Má-li mít motor s klecovým rotorem větší záběrový moment, musí se klec vyrobit jako odporová, obvykle z materiálu s horší elektrickou vodivostí (např. z mosazi). Další možností je zeslabení nebo střídavé prořezání spojovacích kruhů, to však nesmí způsobit přerušení spojení tyčí. Motor s odporovou klecí zabírá převážně s maximálním momentem a má zhoršenou účinnost. Proto se využití těchto motorů omezuje jen na aplikace s krátkodobým zatížením, respektive provozem. Příkladem jsou výtahy a jeřáby, kde dochází k roztáčení velkých momentů setrvačnosti. [2]

4.3 Řízení otáčivé rychlosti asynchronních motorů

Případné metody řízení otáčivé rychlosti asynchronního motoru je možné určit ze vztahu:

$$\Omega = \Omega_1 (1 - s) = \frac{2\pi f_1}{p_p} (1 - s) \quad [\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (5)$$

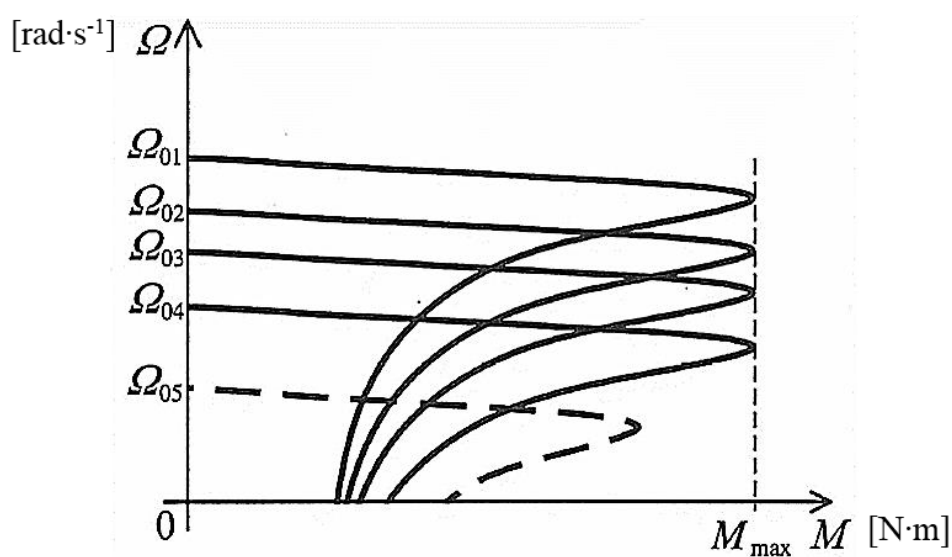
kde Ω [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$] je otáčivá rychlost rotoru, Ω_1 [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$] je otáčivá rychlost točivého magnetického pole ve vzduchové mezeře motoru, s [-] je skluz rotoru, f_1 [Hz] je frekvence napájecího napětí na statoru a p_p [-] udává počet pólů vinutí statoru. Skluz a počet pólů jsou bezrozměrná čísla. Ze vztahu (5) je patrné, že změnu otáčivé rychlosti lze uskutečnit: [1]

- změnou počtu pólů p_p ,
- změnou skluzu s ,
- změnou napájecí frekvence f_1 .

4.3.1 Řízení rychlosti změnou napájecí frekvence

Tato metoda řízení rychlosti asynchronního motoru je v současnosti nejvíce používána. Rychlost naprázdno Ω_0 [rad·s⁻¹] je závislá na Ω_1 [rad·s⁻¹] a tedy na frekvenci f_1 [Hz] napájecího napětí. Změnami frekvence f_1 [Hz] dojde v rovině Ω - M k posunu mechanických charakteristik po ose Ω [rad·s⁻¹]. Posun mechanických charakteristik je zřejmý z Obr. 4. Moment zvratu M_{\max} [N·m] je konstantní při dodržení podmínky stálého poměru U_1 / f_1 . [1].

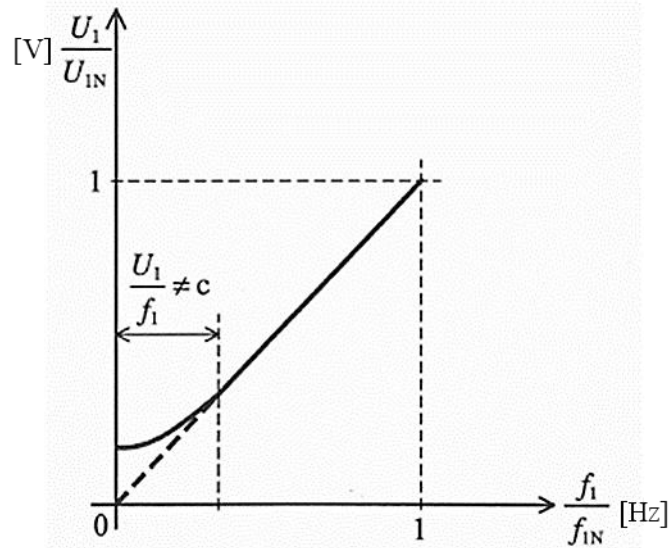
Obr. 4 Mechanické charakteristiky asynchronního motoru při frekvenčním řízení



Zdroj: [1]

Rychlost otáčení motoru je možné řídit tímto způsobem v rozsahu frekvence $0 < f_1 < f_{1N}$. Skluz motoru s [-] je na spráženém magnetickém toku nezávislý, a proto snížení rychlosti z rychlosti naprázdno Ω_0 [rad·s⁻¹] do rychlosti při maximálním momentu M_{\max} [N·m] je v tomto rozsahu frekvencí shodný. Při nízkých frekvencích napájecího napětí již nelze zanedbat úbytek napětí na odporu R_1 [Ω] proti úbytku na rozptylové indukčnosti $L_{1\sigma}$ [H], protože velikost R_1 [Ω] se přibližuje velikosti X_L [Ω]. Úbytek napětí na rezistoru R_1 [Ω] znamená pokles napětí na svorkách motoru což má za následek pokles momentu zvratu M_{\max} [N·m]. Pro zachování původní velikosti momentu zvratu M_{\max} [N·m] je nutné úbytek na rezistoru R_1 [Ω] kompenzovat tím, že klesání napětí U_1 [V] bude pomalejší než pokles frekvence f_1 [Hz]. Taková kompenzace je zobrazena na Obr. 5. Napětí i frekvence je v Obr. 5 vynesena v poměrných hodnotách vztažených ke jmenovitému napětí U_{1N} [V] a ke jmenovité frekvenci f_{1N} [Hz]. [1]

Obr. 5 Kompenzace úbytku na satorovém odporu R_1



Zdroj: [1]

Vyšší než jmenovité rychlosti Ω_N [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$] je možné docílit zvyšováním napájecí frekvence f_1 [Hz] při konstantním napětí U_1 . To má za následek zmenšování magnetického toku Ψ_1 [Wb]. Jestliže je motor zatěžován jmenovitým proudem I_{1N} [A] dochází tím ke snížení jmenovitého momentu M_n [$\text{N}\cdot\text{m}$]. Maximální moment M_{\max} [$\text{N}\cdot\text{m}$], ale klesá kvadraticky. Při určité frekvenci $f_{1\max 1}$ [Hz] je dosaženo maximálního momentu M_{\max} [$\text{N}\cdot\text{m}$] při jmenovitém proudu I_{1N} [A]. Další nárůst frekvence je možný při zmenšování satorového proudu, ale s kvadratickým snížením maximálního momentu. [1]

Z výše uvedeného textu plynou následující výchozí možnosti frekvenčního řízení:

- Řízení s konstantním satorovým magnetickým tokem Ψ_1 [Wb], které umožňuje plně využít dosažitelný moment motoru M [$\text{N}\cdot\text{m}$] při nejmenším odebíraném proudu I_1 [A]. Tato metoda vyžaduje udržovat poměr napájecího napětí U_1 [V] k frekvenci f_1 [Hz] podle průběhu na Obr. 5. Při tomto způsobu řízení je moment zvratu M_{\max} konstantní. Tento způsob je aplikován v rozmezí frekvencí $0 \leq f_1 \leq f_{1N}$.
- Řízení tzv. odbuzováním motoru umožňuje dosahovat vyšších rychlostí rotoru Ω [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$], než je jmenovitá rychlost na prázdno Ω_{0N} [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$]. Tento způsob řízení mění napájecí frekvenci f_1 [Hz] při konstantním napájecím napětím U_1 .

Následně sprážený magnetický tok Ψ_1 [Wb] klesá nepřímo úměrně k frekvenci f_1 [Hz] a v důsledku toho klesá i moment motoru M [N·m] pro stejný proud I_1 [A]. Moment zvratu M_{\max} [N·m] klesá nepřímo úměrně druhé mocnině napájecí frekvence f_1 [Hz]. Tento způsob je využíván v oblasti frekvencí $f_{1N} \leq f_1 \leq f_{1\max}$.

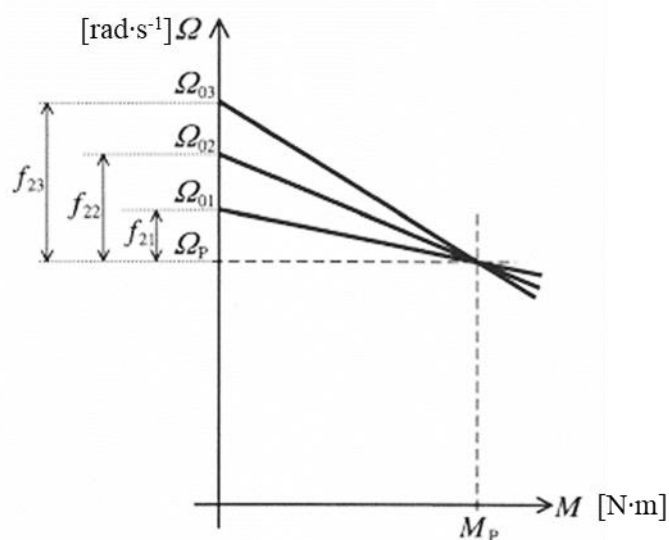
- Řízení s omezením satorového proudu. Tento způsob řízení používá změnu napájecí frekvence f_1 [Hz] nad frekvenci $f_{1\max}$ [Hz] při konstantním napájecím napětí U_1 [V]. Následně sprážený magnetický tok Ψ_1 [Wb] klesá nepřímo úměrně k frekvenci f_1 [Hz] a současně klesá i maximální proud I_{\max} [A]. Následkem toho klesá kvadraticky moment motoru M [N·m]. Tento způsob se používá ve frekvenční oblasti $f_{1\max} < f_1$. [1]

Rovnici pro lineární část mechanické charakteristiky modifikujeme dosazením rotorové frekvence na tvar:

$$M = K_{f2} \cdot \frac{U_1^2}{\Omega_0} \cdot f_2 \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad (6)$$

Z rovnice (6) je patrné, že velikost momentu motoru M [N·m] je závislá na velikosti napájecího napětí U_1 [V], rychlosti otáčení na prázdno Ω_0 [rad·s⁻¹] a rotorové frekvenci f_2 [Hz]. To značí, že lze dosáhnout určitého pracovního bodu motoru (Ω_p , M_p) při různých velikostech U_1 [V], Ω_0 [rad·s⁻¹] a f_2 [Hz]. Toto vysvětluje Obr. 6.[1]

Obr. 6 Možnosti dosažení pracovního bodu motoru



Zdroj: [1]

Na základě těchto možností je následně možné navrhnout i jiná kritéria pro frekvenční řízení rychlosti, podle kterých bude stanovena žádaná rotorová frekvence. Napájecí statorovou frekvenci f_1 [Hz] potom určíme jako součet $f_1 = f + f_2$, kde f [Hz] je frekvence rotoru, která je úměrná rychlosti rotoru $f = \frac{p_p}{2\pi} \Omega$. Potřebnou velikost rotorové frekvence f_2 [Hz] lze stanovit pomocí některého z následujících kritérií: [1]

Kritérium minimálních ztrát. Kritérium vychází z faktu, že při malém zatížení klesají ztráty ve vinutích s druhou mocninou proudu, ale ztráty v železe setrvávají konstantní a při konstantní rychlosti jsou tedy závislé na napájecí statorové frekvenci. Snížíme-li napájecí napětí U_1 [V], zvýší se ztráty ve vinutích, ale klesnou ztráty v železe, a to má za následek snížení celkových ztrát. Je tedy vždy minimum celkových ztrát. Pro každý pracovní bod je možné takto určit optimální parametry U_1 [V], f_1 [Hz], f_2 [Hz]. [1]

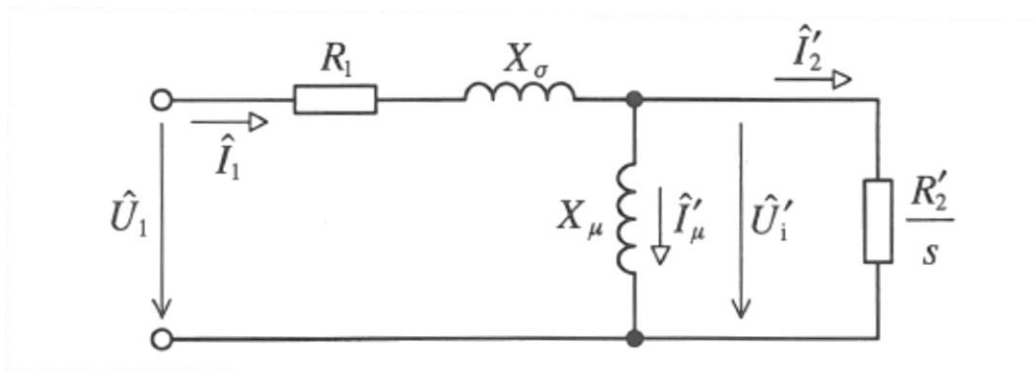
Kritérium minimálního jalového příkonu. Toto kritérium vychází z poznatku, že jalová složka statorového proudu nadbytečně zatěžuje vinutí statoru a vytváří v něm nadbytečné ztráty. Z toho plyne, že lze pro každý pracovní bod stanovit vhodnou kombinaci hodnot parametrů U_1 [V], f_1 [Hz], f_2 [Hz], při kterých bude jalová složka statorového proudu minimální. [1]

Kritérium minimálního statorového proudu. Je obdobné kritériu minimálního jalového proudu a vychází opět ze závislosti ztrát v motoru na statorovém proudu, Z toho plyne, že lze pro každý pracovní bod určit vhodnou kombinaci hodnot parametrů U_1 [V], f_1 [Hz], f_2 [Hz], při kterých bude statorový proud minimální. [1]

Řízení podle rotorové frekvence. Při řízení na základě tohoto kritéria se pro každý požadovaný moment M [N·m] zjistí podle dopředu vypočítaných anebo změřených závislostí rotorová frekvence f_2 [Hz] a statorový proud I_1 [A]. Pro rotorovou frekvenci f_2 [Hz] se následně určí statorová frekvence $f_1 = f + f_2$. Napájecí napětí U_1 [V] se současně mění tak, aby byl dosažen statorový proud I_1 [A]. [1]

Vektorově orientovaná regulace. Metoda regulace orientované podle vektoru spřaženého magnetického toku Ψ [Wb] je metoda regulace, která vychází z fyzikálního základu funkce elektrického stroje. Způsobů vektorově orientovaných je celá řada, zde je vysvětlen základ jednoho z nich, který vychází z náhradního obvodového schématu asynchronního motoru Obr. 7 a k němu příslušejícího vektorovému diagramu Obr. 8. [1]

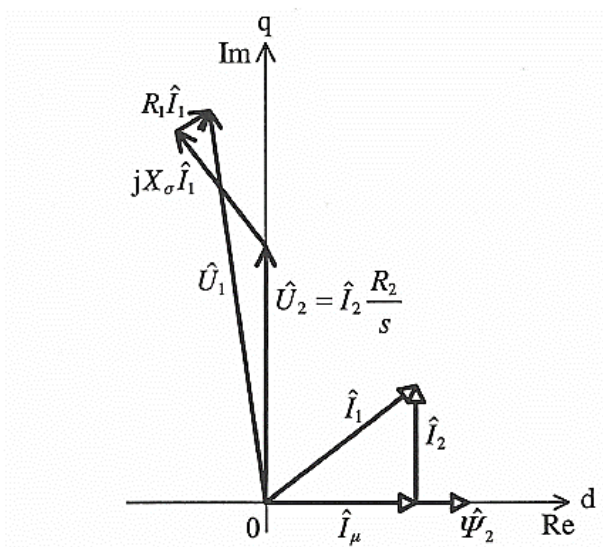
Obr. 7 Náhradní obvodové schéma Γ -schéma



Zdroj: [1]

Vektorový diagram z Obr. 8 je upraven tak, aby osy souřadného systému os (d, q) byly ve vodorovné, resp. svislé poloze. Ve vektorovém diagramu jsou vynechána označení pro přepočítané vektory proudů a napětí a byl doplněn vektor spráženého magnetického toku Ψ_2 [Wb].

Obr. 8 Vektorový diagram vektorově orientované regulace



Zdroj: [1]

Ze vzorce pro okamžitý elektromagnetický moment asynchronního motoru, který je určen ze složek vektoru spráženého magnetického toku Ψ [Wb] a složek vektoru proudu \hat{I} [A]. Vzorec upravíme pro složky uvedených vektorů v souřadných osách (d, q) a získáme:

$$M = \frac{3}{2} p_p (\psi_{2d} i_{2q} - \psi_{2q} i_{2d}) \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad (7)$$

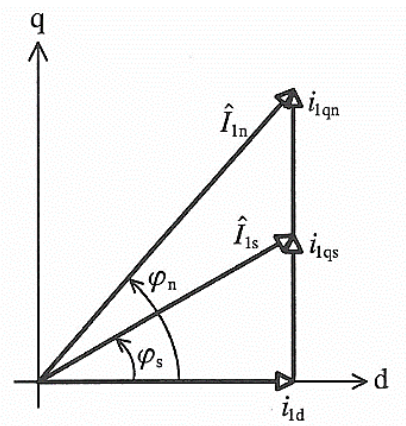
Po dosazení do (7) dostaneme:

$$M = K_{dq} (i_{1d}i_{1q} - 0 \cdot 0) = K_{dq}i_{1d}i_{1q} \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad (8)$$

Dostaneme vztah, který umožňuje stanovit okamžitou velikost elektromagnetického momentu ze složek vektoru statorového proudu i_{1d} [A] a i_{1q} [A]. Složka i_{1d} [A] je svázána se spráženým magnetickým tokem v motoru a z tohoto důvodu se pro ni užívá označení „tokotvorná složka“. Složka i_{1q} [A] je svázána s činným výkonem, a proto i s momentem motoru. Z tohoto důvodu se pro ni užívá označení „momentotvorná složka“. Získali jsme tak obdobu ke vztahu pro moment stejnosměrného cize buzeného motoru. Tokotvorná složka i_{1d} [A] je obdobou budícího proudu stejnosměrného cize buzeného motoru a měla by být zachována konstantní. Momentotvorná složka i_{1q} [A] je analogií proudu kotvy stejnosměrného cize buzeného motoru a měla by být pozměňována úměrně okamžitému žádanému momentu motoru M [N·m]. Obr. 9 ilustruje požadavky, které musí být naplněny pro dosažení okamžité změny elektromagnetického momentu asynchronního motoru. Složky statorového proudu před změnou jsou doplněny o index „s“, složky po změně jsou doplněny o index „n“. Z Obr. 9 je patrné, že po docílení skokové změny elektromagnetického momentu musí být: [1]

- uskutečněna změna velikosti složky proudu i_{1qs} na velikost složky i_{1qn} ,
- uskutečněna změna rotorová frekvence z frekvence f_{2s} na frekvenci f_{2n} ,
- uskutečněna změna úhlu natočení vektoru statorového proudu z polohy \hat{I}_{1s} do polohy \hat{I}_{1n} .

Obr. 9 Vysvětlení požadavků na skokovou změnu momentu



Zdroj: [1]

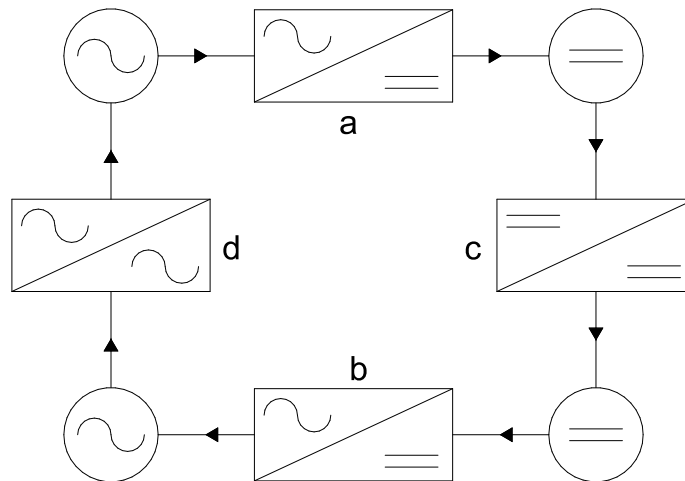
4.4 Měníče frekvence

Užitná hodnota elektrické energie je výrazným způsobem navyšována možnostmi měnit její parametry, tj. napětí, proud, frekvenci a počet fází. Zařízení určené pro změnu parametrů elektrické energie můžeme rozdělit do dvou základních kategorií. První kategorii tvoří měniče, které pracují na základě indukčního Faradayova zákona. Sem náleží rotační soustrojí, jednofázové konvertory a transformátory. Druhou kategorií historicky mladší tvoří měniče pracující na principu řízeného spínání a přerušování elektrického obvodu. Do této kategorie spadají mechanické kontaktní usměrňovače, měniče se selenovými, rtuťovými, germaniovými anebo křemíkovými součástkami. [3]

První selenový usměrňovač byl zhotoven kolem roku 1880 a jeho hlavní funkcí bylo dobíjení telefonních baterií. Důležitým milníkem byl objev nelineárních vlastností elektrického oblouku ve rtuťových parách a jejich aplikace ve rtuťovém usměrňovači v roce 1902. Už ve dvacátých letech došlo k početnému nasazení rtuťových usměrňovačů v měnících elektrických drah zažívající v té době rychlý rozvoj. Technický vývoj vyvrcholil výrobou říditelných součástek – ignitronů v padesátých letech minulého století. V tehdejší Československu byla produkce rtuťových usměrňovačů započata v r. 1928 v ČKD Praha a byla ukončena kolem roku 1965. Další průlomovou událostí byl v r. 1947 objev nelineárních vlastností P-N přechodu prvků 4. sloupce Mendělejevovy tabulky a jejich následné využití v tranzistorech a diodách v slaboproudé elektronice. V silnoproudé elektrotechnice došlo v padesátých letech po krátkém období germaniových diod a tranzistorů ke obecnému využívání součástek na bázi křemíku. Po sobě dále vznikly výkonové diody, tyristory (1955), výkonové tranzistory (1964) a řada dalších součástek. V devadesátých letech minulého století došlo k vývoji vypínatelných součástek – GTO tyristorů a IGBT tranzistorů. Rozvoj součástek pro výkonovou elektroniku provázal také vývoj silových schémat pro elektronické měniče např. ochranné a komutační obvody. Z vývoje plynoucí změny parametrů a technických vlastností součástek výkonové elektroniky použitých pro stavbu měničů vedly k rozšíření této techniky i do mnoha dalších sfér. Kromě původních měření elektrické trakce a městské hromadné dopravy to byly elektrolýzy, stejnosměrné regulované pohony zejména ve válcovnách a na důlních dílech a střídavé regulovatelné pohony pro pohon čerpadel, kompresorů. [3]

Měniče parametrů elektrické energie dělíme dle charakteru vstupní a výstupní energie do čtyř základních kategorií. Vzájemnou souvislost mezi nimi znázorňuje Obr. 10: [3]

Obr. 10 Rozdělení výkonových měničů



Zdroj: [3]

a – usměrňovač je měnič, který mění vstupní střídavé napětí a proud na výstupní stejnosměrné napětí a proud,

b – střídač je měniče, který naopak mění vstupní stejnosměrné napětí a proud na výstupní střídavé napětí, proud, frekvenci a počet fází,

c – stejnosměrný měnič napětí je měnič, který mění vstupní stejnosměrné napětí a proud na výstupní stejnosměrné napětí a proud jiné velikosti,

d – střídavý měnič je měnič, který mění vstupní střídavé napětí, proud počet fází a frekvenci na výstupní střídavou energii jiných parametrů. Podle poměru mezi vstupními a výstupními parametry střídavé měniče dělíme na:

- střídavé měniče napětí, které zachovávají shodnou frekvenci a počet fází,
- střídavé měniče frekvence, které nemění počet fází,
- střídavé měniče počtu fází, měnící všechny parametry,
- střídavé měniče impedance, které se chovají jako proměnná impedance, využívající se k řízení kompenzace jalového výkonu.

Měníče frekvence jsou určeny k přeměně střídavé energie jednoho kmitočtu na střídavou energii jiného kmitočtu. Sféra jejich nasazení je velmi široká. Lze je nalézt jako element střídavých regulovaných pohonů jak s asynchronními, tak i synchronními motory, kde zajišťují rozběh bez proudového nárazu na síť a řízení otáček v žádaném provozním pásmu otáček. Umožňují realizovat pohony s extrémně nízkými otáčkami tzn. několik otáček za minutu i pohony s extrémně vysokými otáčkami, řádově několika desítek až stovek tisíc otáček za minutu. Další nezanedbatelnou oblastí využití měničů frekvence je indukční ohřev, kde se jedná o frekvence řádově sta až tisíce Hz a výkony stovky kW. Měníče frekvence s výstupní frekvencí jednotky až desítky Hz jsou využívány k indukčnímu míchání taveniny v elektrických pecích. V energetice získaly uplatnění měniče frekvence, které dovolují spojovat nesynchronizované střídavé sítě (Japonsko síť 50 a 60 Hz). [3]

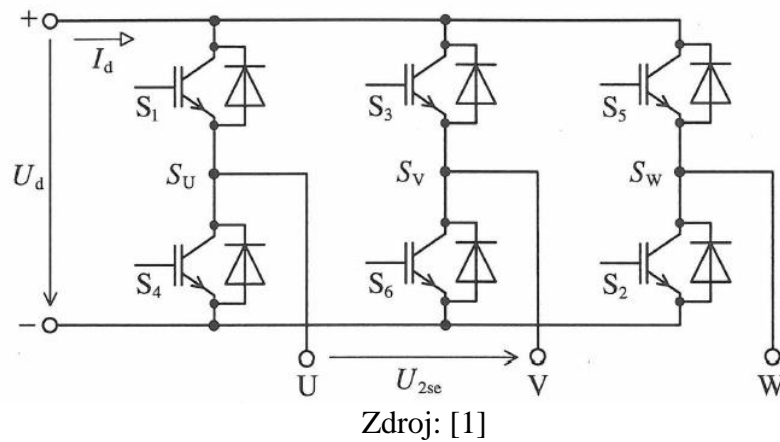
4.4.1 Přímý měnič frekvence

Přímý měnič frekvence je druhem měniče výkonové elektroniky, který transformuje vstupní střídavé napětí o konstantní efektivní hodnotě U_1 [V] a konstantní frekvenci f_1 [Hz] na výstupní střídavé napětí o proměnné efektivní hodnotě U_2 [V] a proměnné frekvenci f_2 [Hz] přímo, to znamená bez přítomnosti stejnosměrného napěťového meziobvodu. V technické praxi je pro něj vžit také název cyklokonvertor. Ve trojfázovém zapojení musí být použito minimálně 36 tyristorů. Pro aplikaci s asynchronními motory není vhodný hlavně proto, že jeho výstupní frekvence může být maximálně asi 40% napájecí frekvence. Z tohoto důvodu se pro napájení asynchronních motorů nepoužívá. [1]

4.4.2 Nepřímý měnič frekvence s proměnným napětím v meziobvodu

Nepřímý měnič frekvence je typem měniče výkonové elektroniky, který provádí změnu vstupního střídavého napětí o konstantní efektivní hodnotě U_1 [V] a konstantní frekvenci f_1 [Hz] na výstupní střídavé napětí o proměnné efektivní hodnotě U_2 [V] a proměnné frekvenci f_2 [Hz]. Pojmenování nepřímý měnič frekvence je odvozen z toho, že měnič je vytvořen sériovým spojením vstupního usměrňovače a výstupního střídače přes stejnosměrný napěťový meziobvod. Řízení výstupní frekvence f_2 [Hz] je realizováno řízením spínání vypínatelných součástí střídače a řízením velikosti výstupního napětí U_2 [V] změnou napětí ve stejnosměrném meziobvodu pomocí řízeného tyristorového usměrňovače dle Obr. 11. [1]

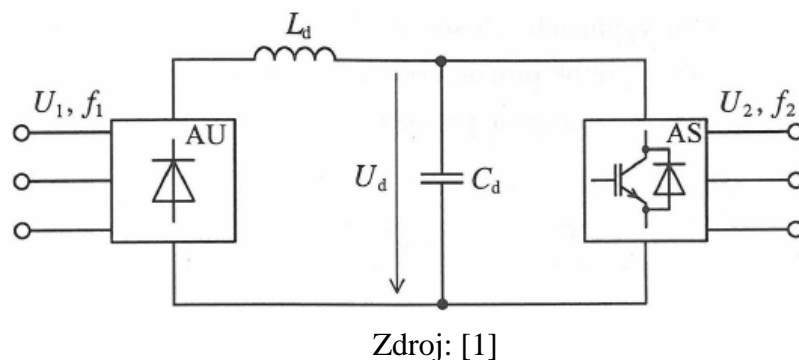
Obr. 11 Obvodové schéma třífázového napět'ového střídače



4.4.3 Nepřímí měnič frekvence s konstantním napětím v meziobvodu

Blokové schéma nepřímého měniče frekvence včetně vstupního neřízeného diodového usměrňovače AU je uvedeno na Obr. 12. Tento typ měniče uskutečňuje jak řízení výstupní frekvence f_2 [Hz], tak i řízení velikosti výstupního napětí U_2 [V] řízením spínání vypínatelných součástek střídače v bloku označeném AS. Tlumivka L_d [H] je využívána k vyhlazení odebíraného proudu z napájecí sítě. Kondenzátor C_d [F] ve stejnosměrném meziobvodu je určen ke stabilizaci napětí v meziobvodu. Proud odebíraný z napájecí sítě má většinou velký obsah harmonických. Proto je v současné době nahrazován diodový usměrňovač měničem s vypínatelnými součástkami dle shodného zapojení jako na Obr. 11. [1]

Obr. 12 Blokové schéma nepřímého napět'ového měniče frekvence



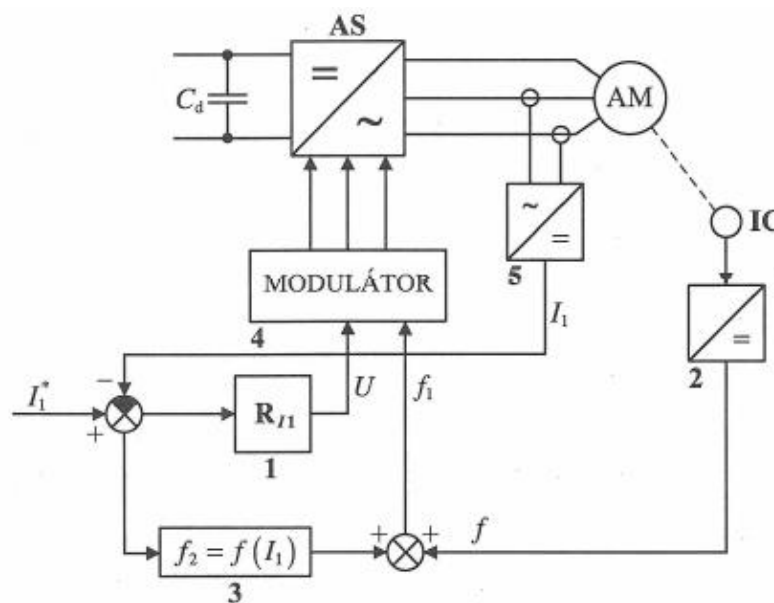
Takto provedený měnič dovoluje řídit odběr proudu ze sítě tak, aby měl prakticky pouze základní harmonickou. Je možné řídit i jeho fázový posuv a tím i velikost odebíraného

jalového výkonu. Takto provedený usměrňovač v bloku AU se nazývá pulzní usměrňovač. [1]

4.4.4 Skalární metoda řízení

Skalární metoda řízení měniče frekvence pro napájení asynchronního motoru AM není zvláště náročná, neumožňuje však dosáhnout značného dynamického chování pohonů během přechodných dějů. Dnes je používána pouze u relativně starších provedeníh pohonů nebo v dynamicky méně náročných aplikacích, jako jsou pohony ventilátorů či čerpadel. Existuje řada rozdílných možností skalárního řízení. Charakteristickým představitelem je tzv. kmitočtově-proudové řízení. Blokové schéma je uvedeno na Obr. 13. [1]

Obr. 13 Blokové schéma skalárního řízení asynchronního motoru



Zdroj: [1]

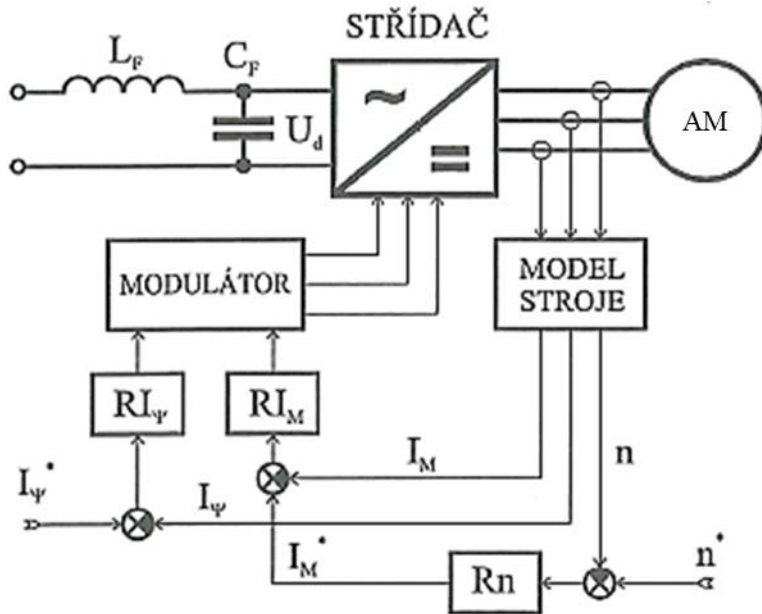
Vstupní veličinou je žádaná hodnota statorového proudu I_1^* [A], která je komparována se skutečnou hodnotou statorového proudu I_1 [A]. Vypočtená regulační odchylka je vstupem do regulátoru statorového proudu R_{11} v bloku 1. Signál I_1 [A], je výstupem senzoru proudu z bloku 5, který provádí převod okamžité hodnoty měřených proudů v přívodu asynchronního motoru na stejnosměrný signál I_1 [A] proporcionální amplitudě fázových proudů. Výstupem regulátoru R_{11} je signál označen U [V]. Snímač otáčivé rychlosti IC realizovaný inkrementálním čidlem otáček snímá skutečné otáčky rotoru a v bloku 2 je mění na stejnosměrný signál úměrný otáčivé rychlosti rotoru Ω [rad·s⁻¹]. V bloku 3 je z rozdílu

žádané hodnoty proudu I_1^* [A] a hodnoty skutečného proudu I_1 [A] s použitím nelineární závislosti $f_2=f(I_1)$ určena rotorová frekvence f_2 [Hz]. Tuto nelinearitu lze získat buď teoretickým rozбором nebo experimentálně. Součet $f + f_2 = f_1$ a signál U [V] jsou vstupními signály do bloku modulátoru 4. Výstupem modulátoru jsou signály, které formou tzv. modulační konstanty, jenž vyjadřuje poměrnou šířku napěťových impulzů řídicích napětí a frekvenci na výstupu střídače AS. [1]

4.4.5 Vektorově orientovaná metoda regulace

Výchozí regulovanou veličinou v elektrických pohonech je magnetický tok a vnitřní elektromagnetický moment. Tyto veličiny je možné regulovat přímo, eventuálně i jiným způsobem. Magnetický tok a elektromagnetický moment nejsou prakticky přímo měřitelné, a proto jsou výchozí hodnoty ty, které lze technicky jednoduše měřit (statorové proudy, napětí, otáčky). Z těchto naměřených hodnot jsou pomocí určitého matematického modelu stroje vyčísleny všechny vnitřní veličiny potřebné pro regulaci. Na rozdíl od stejnosměrného stroje, kde je pro určení elektromagnetického momentu a magnetického toku dostatečné měření kotevního a budícího proudu je nutné u střídavých strojů řešit soustavu diferenciálních rovnic. Vzhledem k požadavkům na kvalitu regulace musí být iterace výpočtu řádově v desítkách μ s. Vlastnosti určitého matematického modelu jsou často velmi chybně interpretovány jako vlastnosti určitého typu vektorové regulace. K uvážení jsou především dva typy matematických modelů – takzvaný I_1 - n model založený na měření statorových proudů a otáčivé rychlosti a U_1 - I_1 model pracující s informacemi o proudu a napětí. Pro zjištění údaje o napětí ho není nutné pokaždé přímo měřit. Údaj lze obdržet z naměřené hodnoty napětí filtru ve stejnosměrném meziobvodu a zjištěním okamžitého stavu sepnutí součástek střídače. Zásadní odlišnost mezi oběma typy matematických modelů je chování v nízkých otáčkách, kde je I_1 - n model stabilní. Značnou výhodou U_1 - I_1 modelu je, že pro svou funkci nepotřebuje čidlo otáček. Pokud je v pohonu použita otáčková regulační smyčka, lze získat skutečné otáčky výpočtem, jak je znázorněno na Obr. 14. [4]

Obr. 14 Principiální schéma vektorové regulace



Zdroj: [4]

4.4.6 Nepřímá metoda s čidlem rychlosti rotoru

Blokové schéma je na Obr. 15. Na hřídeli asynchronního motoru označeného AM je osazeno čidlo rychlosti otáčení IC, které přes blok 8 a 10 tvoří výstupní signál f [Hz], proporcionální skutečné otáčivé rychlosti rotoru Ω [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$]. Ke dvěma fázím v přívodu k statorovému vinutí jsou připojena čidla proudů, které generují výstupní signály i_a [A] a i_b [A]. Tyto signály se v bloku 6 transformují z třífázového systému (a, b, c) do systému (α, β) podle transformačních rovnic. Na výstupu bloku 6 jsou dva signály i_α [A] a i_β [A]. Blok 5 realizuje transformaci ze systému os (α, β) do systému os (d, q) podle transformačních rovnic. Pro tuto transformaci je nezbytné znát okamžitý úhel ϑ_1 [°] mezi polohou osy „d“ a osy α . Ten získáme ze vztahu:

$$\vartheta_1 = \int d\vartheta_1 = \int d(\vartheta + \vartheta_2) = \int \left(\frac{d\vartheta}{dt} + \frac{d\vartheta_2}{dt} \right) dt = 2\pi \int (f + f_2) dt \quad [^\circ] \quad (9)$$

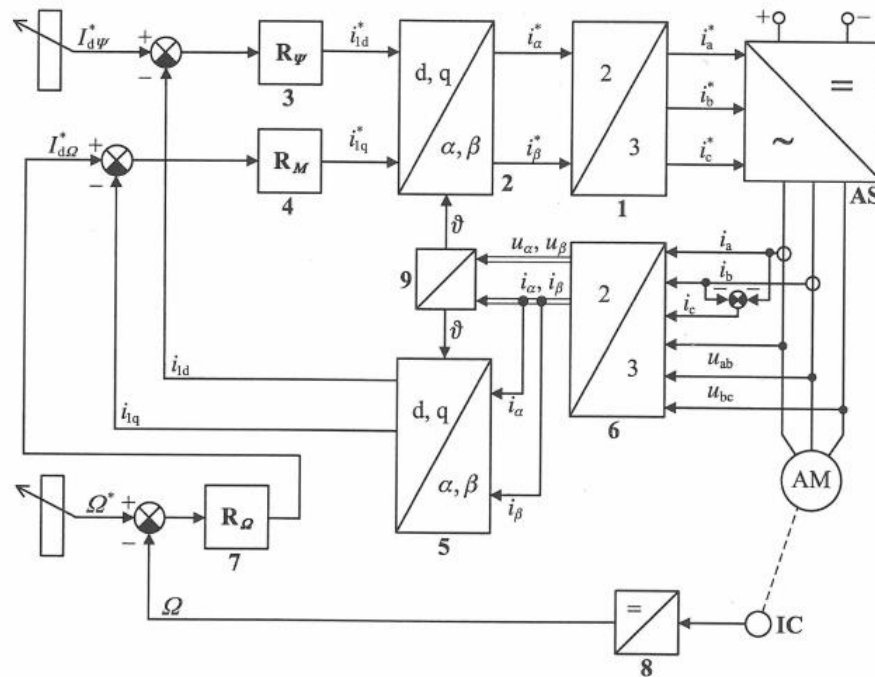
Metoda je postavena na integraci součtu signálu f [Hz] a signálu žádané hodnoty rotorové frekvence f_2 [Hz] v bloku 9. Rotorová frekvence f_2 [Hz] je vypočtena z matematického modelu asynchronního v bloku 11. Výstupy z bloku 5 jsou dva signály proporcionální složkám vektoru statorového proudu i_{1q} [A] a i_{1d} [A]. Tyto signály jsou skutečnými

polohou osy „d“ a osy α se v této metodě vypočítává v bloku 9 rekonstrukcí vyvozenou z vektorového diagramu viz Obr. 8. Vektor napětí \hat{U}_2 leží v ose „q“ a je indukován vektorem rotorového toku $\hat{\Psi}_2$. Okamžité složky $\psi_{2\alpha}$ [Wb] a $\psi_{2\beta}$ [Wb] rotorového toku $\hat{\Psi}_2$ se vypočtou ze změřených a posléze transformovaných hodnot napětí a proudů v totožném bloku. Poloha vektoru $\hat{\Psi}_2$ je současně polohou osy „d“. Pro $\sin \vartheta$ a $\cos \vartheta$ tedy platí:

$$\sin \vartheta = \frac{\psi_{2\beta}}{|\hat{\Psi}_2|} \quad \cos \vartheta = \frac{\psi_{2\alpha}}{|\hat{\Psi}_2|} \quad |\hat{\Psi}_2| = \sqrt{\psi_{2\alpha}^2 + \psi_{2\beta}^2} \quad (10)$$

Hodnoty $\sin \vartheta$ a $\cos \vartheta$ jsou přímo aplikovatelné pro transformaci mezi systémy os (α, β) a (d, q) . Čidlo otáček IC na Obr. 16 je instalováno pouze pro měření skutečné hodnoty otáčivé rychlosti. Požadavky na přesnost čidla jsou podstatně nižší než u předešlé metody a není tudíž nutné jej instalovat. Metoda vektorové regulace, která nevyužívá čidlo otáček se nazývá Sensorless Vector. [4]

Obr. 16 Blokového schéma vektorové regulace s čidly napětí



Zdroj: [1]

4.5 Programovací a komunikační části měničů

Frekvenční měniče určené pro univerzální aplikace se vyznačují mnohými parametrizačními, programovacími a komunikačními možnostmi. Minimálně je možné naprogramovat a upravit pro konkrétní aplikaci tyto funkční oblasti: [2]

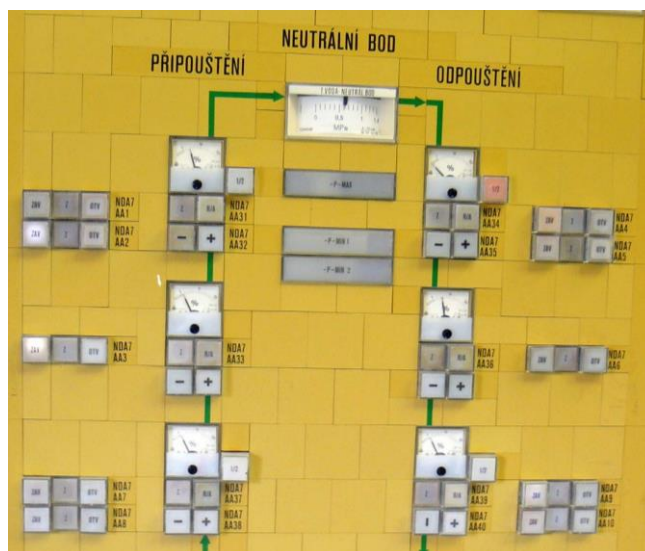
- druh regulované veličiny (otáčky, moment),
- typ řízení měniče (skalární, vektorové),
- vlastnosti analogových vstupů a výstupů (typy vstupů napěťové nebo proudové a jejich rozsahy),
- nastavení různých časových průběhů ramp,
- PID regulátory a přizpůsobení parametrů podle požadavků aplikace,
- diagnostika a indikace provozních a poruchových stavů pohonu,
- konfigurace a parametry pro častokrát se vyskytující průmyslové aplikace,
- konfigurace a parametry komunikačních rozhraní.

Uvedený seznam základních možností frekvenčního měniče je možné dle potřeby rozšiřovat prostřednictvím modulů pro připojení na číslicovou sběrnici. Ke standardnímu softwarovému vybavení frekvenčních měničů dnes již patří servisní softwarové nástroje dodávané spolu s frekvenčním měničem, které umožňují změnu nastavení parametrů a diagnostiku měniče pohonu v reálném čase. Dalším standardem je programové vybavení pro komunikaci měničů mezi sebou usnadňující navrhování vícemotorových pohonů. V aplikacích průmyslové automatizace se často vyskytují sběrnice komunikační uspořádání a z tohoto důvodu jsou měniče též osazeny komunikačními rozhraními (např. Modbus RTU, Modbus TCP, PROFIBUS, EtherNet/IP apod.) tuto komunikaci umožňující. Lokálním rozhraním člověk – stroj měničů bývá klávesnice s displejem umístěná na měniči. Pohon jako součást určitého automatizovaného systému řízení technologického procesu je zpravidla ovládán z číslicových řídicích kanálů nadřazeného řízení na bázi ethernetu nebo pomocí programovatelného logického kontroléru přes pevně nakonfigurované diskrétní a analogové vstupy a výstupy. Tyto přístupy jsou využívány i pro monitoring provozu a diagnostiku měniče (např. ztráta napájecího napětí, měnič v provozu, rychlost otáčení, dosažení mezního proudu či momentu, přehřátí měniče nebo motoru atd.). Číslicové parametry mohou vstupovat do komparátorů s programovatelnými mezemi přepnutí a pásmem necitlivosti, jejichž výstupy generují dále použitelnou informaci. [2]

4.6 Rozhraní člověk – stroj

Rozhraní člověk – stroj je nedílnou součástí elektrických pohonů, a to jak pohonů individuálně provozovaných, tak pohonů provozovaných v rámci automatizovaných systému řízení technologických procesů. V minulosti byla využívána pro interakci mezi člověkem a strojem tlačítka, světelná návěští (signálky), analogové ukazovací přístroje. Tyto prvky byly slučovány do tzv. operátorského panelu v praxi označovaného mozaika. V případě rozsáhlých technologických celků byly panely interpretující technologický proces slučovány do rozsáhlých operátorských pracovišť. Předlohou pro návrh a realizaci panelů určených k řízení a kontrole technologických procesů byla strojně technologická schémata. Výstupem návrhu byla realizace zjednodušeného schéma technologie doplněného o prvky pro řízení a kontrolu technologického procesu jako celku a individuálně provozovaných elektrických pohonů. Jeden z možných příkladů realizace operátorského panelu je zobrazen na Obr. 17, kde byl panel vytvořen ze stavebnicového systému, který tvoří tzv. operátorskou mozaiku. Toto řešení se používalo především v osmdesátých a devadesátých letech minulého století, avšak v některých odvětvích se s nimi můžeme v moderní podobě setkat i v současnosti.

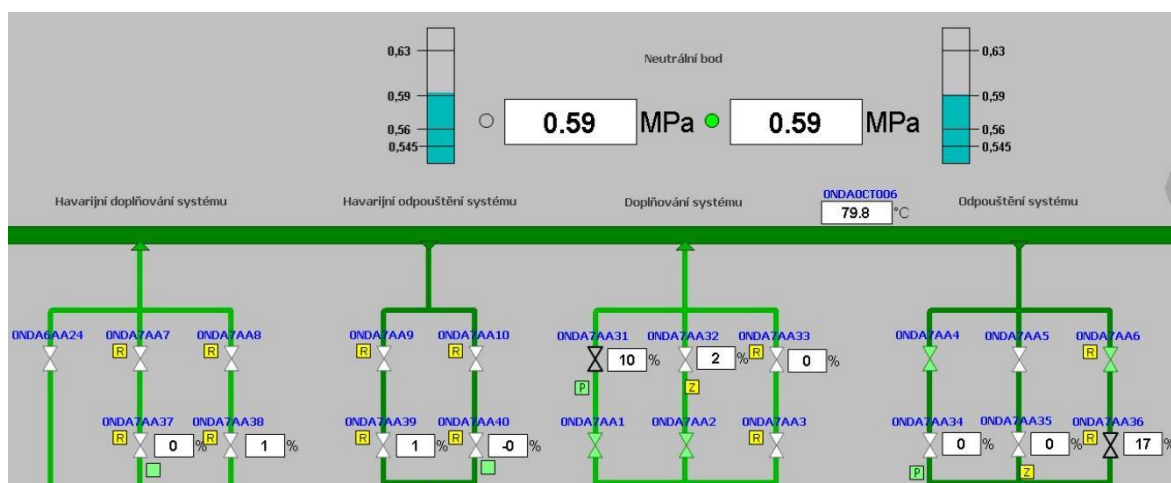
Obr. 17 Historické řešení rozhraní člověk – stroj



Řešení rozhraní člověk – stroj pomocí operátorských panelů přináší velkou výhodu v přehledu nad celým řízeným a monitorovaným systémem v reálném čase. Nevýhodou je velká zástavba prostoru závislá na rozsahu řízeného a monitorovaného systému a náročná rozšiřitelnost a s tím související nízká míra zákaznické adaptace po realizaci. Tyto nevýhody je nutné zohlednit při tvorbě návrhu, což klade vysoké nároky na vlastní provedení návrhu operátorského panelu.

Již několik let je trendem využívat pro rozhraní člověk – stroj výpočetní prostředky. Vstupní rozhraním výpočetních prostředků pro personál je klasická nebo funkčně přizpůsobená klávesnice spolu s polohovacím zařízením v provedení počítačová myš, trackball, touchpad. Výstupní periferií pro personál je monitor nebo displej. Dále to jsou zařízení integrující obě rozhraní do jednoho. Příkladem takového zařízení je i dotykový displej využitý v této diplomové práci. Jak již název dotykový displej naznačuje, lze takové zařízení naprogramovat nejen pro monitorování zobrazeného systému, ale také pro vlastní řízení daného systému. Zásadou grafických a vizualizačních možností dostupných výpočetních prostředků je dnes v praxi obor zabývající se návrhem a realizací rozhraní člověk – stroj, který je nazýván vizualizace. Rozdíl mezi vizualizací shodné části technologie provedené stavebnicovým systémem viz Obr. 17 a výřezu obrazovky vizualizace zobrazenou na displeji monitoru provedenou pomocí soudobých SW a HW prostředků je patrný z Obr. 18.

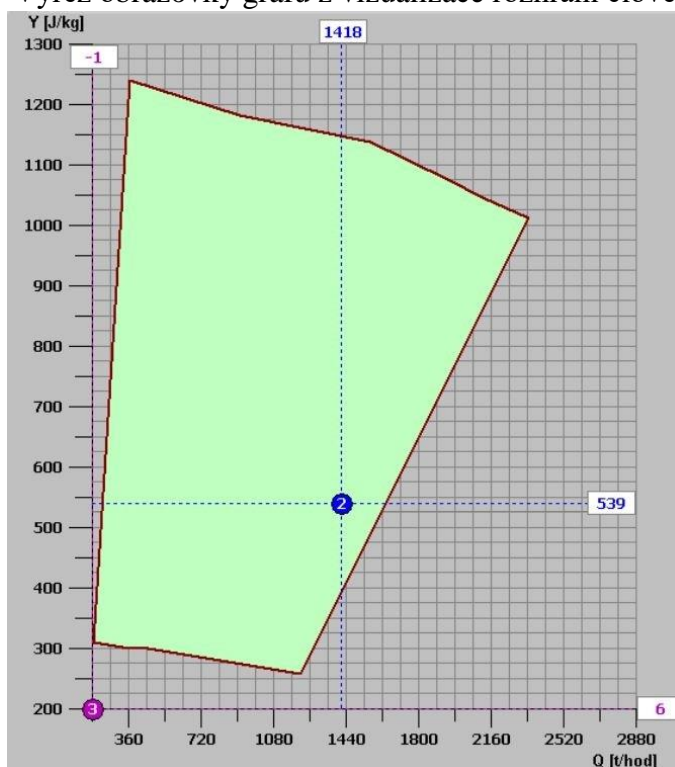
Obr. 18 Obrazovka ze soudobého řešení rozhraní člověk – stroj



Co je však společné pro obě řešení rozhraní člověk – stroj, respektive vizualizaci jsou vstupní podklady pro návrh a tvorbu. Předlohou pro návrh a realizaci displejů určených k řízení a kontrole technologických procesů jsou strojně technologická schémata. Vzhledem

k zobrazovacím možnostem omezených pouze velikostí monitoru je velikost monitoru či monitorů zásadní limitující faktor při návrhu vizualizace. Proto i zde platí i zde jistá pravidla, která je nutné respektovat proto aby byl návrh a provedení vizualizace správný. Nejdůležitější vlastností dobře navržené vizualizace je jednoznačně logické a přehledné uspořádání. Barevné a grafické provedení nesmí svým provedením odvádět pozornost a unavovat personál. Dost často se stává, že snaha o co největší míru použití prvků grafiky (3D modely, animace) převládá nad významem využití vizualizace v oblasti automatizovaných systémů řízení technologických procesů. Nicméně využití nástrojů pro vizualizaci stavů a průběhů veličin různými typy grafů, které moderní vizualizační nástroje nabízí je nejen vhodné nýbrž nezbytné. Pro ukázkou využití grafu ve vizualizaci je uveden výřez z obrazovky vizualizace s grafem pracovní oblasti čerpadel na Obr. 19.

Obr. 19 Výřez obrazovky grafu z vizualizace rozhraní člověk – stroj



Z tohoto celkem prostého grafického zobrazení má provozní personál všechny potřebné informace o stavu provozovaného čerpadla v pracovní oblasti a parametrech ovlivňujících stav čerpadla. Na základě takto zobrazených informací je provozní personál schopen případně provádět řídicí zásahy.

5 Praktická část práce

Praktická část práce vychází ze zadaného cíle diplomové práce a ze štítkových údajů asynchronního motoru, který byl obdržen k využití. Cíl práce bude naplněn realizací výukové sestavy elektrického pohonu s vizualizací. Asynchronní motor spolu s frekvenčním měničem jsou základními pilíři elektrického pohonu. Parametry asynchronního motoru jsou nejdůležitějšími a prvotními vstupními informacemi pro návrh elektrické části pohonu. Výkonové parametry asynchronního motoru a metoda regulace momentu a otáček vyplývá z požadavků na mechanické parametry poháněného zařízení. Rozdílné požadavky na způsob regulace momentu a otáček pohonné jednotky mají rozdílná zařízení např.: dopravníky, zdvihací zařízení a čerpadla nebo ventilátory. Proto je nutné před vlastním návrhem elektrické části včetně návrhu frekvenčního měniče mít znalost o požadavcích poháněného zařízení na provozní režim a žádané momentové charakteristiky.

Ideou praktické části diplomové práce bylo navrhnout a vytvořit sestavu elektrického pohonu spolu s vizualizací a na ní aplikovat úlohu řízení a monitorování částí pohonu. Na této sestavě elektrického pohonu ověřit možnost řízení pohonu v provozních režimech rozběh a doběh. Takto navrhnutá a realizovaná sestava bude modifikovatelná pro další využití ve výuce.

5.1 Koncepce řešení praktické části

Jak již bylo zmíněno výše pro praktickou část práce byl využit asynchronní motor, jehož štítkové údaje jsou uvedeny v Tab. č. 1.

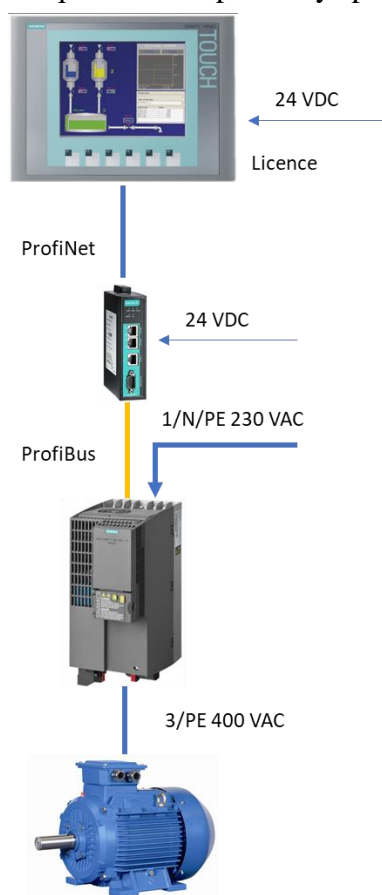
Tab. č. 1 Štítkové údaje asynchronního motoru použitého v praktické části práce

Název parametru	Hodnota parametru	Jednotky parametru
Typ	T3H84V	-
Rok výroby	1961	-
Výkon	250	[W]
Zapojení statoru	Y/D	-
Napětí	380/220	[V]
Proud	0,77/1,33	[A]
Frekvence	50	[Hz]

Následně byla stanovena koncepce řešení praktické části práce, která měla za úkol v hrubých rysech definovat prostředky potřebné pro realizaci zadaného úkolu. V této fázi realizace praktické části byly k dispozici potřebné vstupní údaje o asynchronním motoru. Asynchronní motor má být součástí výukové sestavy a není součástí žádného poháněného zařízení pracuje tedy naprázdno, respektive pouze s vlastními ztrátami nebylo potřeba přímo zohlednit technické požadavky na metodu regulace otáček a momentu.

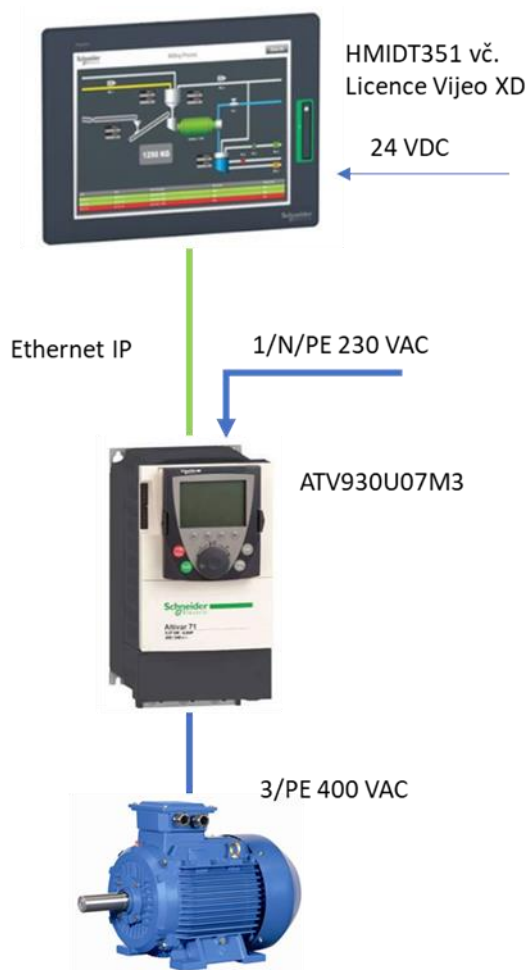
Původním záměrem bylo využít frekvenční měnič z produktové řady MicroMaster 440 vyráběný společností Siemens. Byla navržena koncepce řešení, která je vyobrazena na Obr. 20. Měnič typového označení 6SE6440-2AD22-2BA1 měl dostačující výkonové parametry, a i po stránce nabízených metod regulace otáček a točivého momentu byl vyhovující. Jelikož praktická úloha má mít i vlastní vizualizaci pro řízení a monitorování pohonu, bylo nutné proto frekvenční měnič posoudit i po stránce možností komunikačního rozhraní tak, aby vyhovoval myšlence sestavy pohonu spolu s vizualizací a stejně tak i po stránce dnešních standardů v oblasti průmyslových komunikačních technologií.

Obr. 20 Koncepce řešení s produkty společnosti Siemens



Při seznámení s komunikačními možnostmi frekvenčního měniče byly zjištěny dvě možnosti komunikačního rozhraní. Prvním byla sběrnice Profibus DP na fyzické vrstvě RS485 a druhým byl proprietární protokol SSU fungující prostřednictvím sériového rozhraní od společnosti Siemens. Pro potřeby komunikace s vizualizačním prostředkem shodného výrobce by bylo nutné použít převodník protokolu Profibus DP na protokol ProfiNet na bázi ethernetu. Na základě dříve zmíněných komunikačních možností a nutnosti použít v komunikační vazbě převodník, byl frekvenční měnič zhodnocen po stránce komunikačních možností jako nevyhovující. Proto bylo od tohoto konceptu řešení ustoupeno.

Obr. 21 Koncepte řešení s produkty společnosti Schneider Electric



Druhý koncept řešení úkolu byl postaven na nových zařízeních od společnosti Schneider Electric, koncept řešení je vyobrazen na Obr. 21. Po prozkoumání výkonových a komunikačních parametrů byly vybrány a zajištěny následující komponenty. Frekvenční

měníč ATV930 z řady výrobků Altivar Process ATV900, který plní s rezervou požadované výkonové parametry uvedené na štítku asynchronního motoru. Z hlediska komunikačních možností je frekvenční měnič vysoce přizpůsobivý v souladu s moderními trendy v oblasti komunikačních technologií v průmyslové automatizaci. Další výhodou je možnost parametrizace a diagnostika pohonu v reálném čase za pomoci aplikace SoMove nainstalované v PC. Jako prostředek pro vizualizaci, respektive prostředek pro realizaci rozhraní člověk – stroj byl v specifikován dotykový displej HMIDT351 z produktové řady Magelis GTU a to na základě vhodných rozměrů, rozlišení displeje a vlastností komunikačních rozhraní.

Pro podporu rozhodování mezi koncepty řešení praktické části diplomové práce byla také vytvořena Tab. č. 2, ve které byly shrnuty a porovnány hlavní parametry obou frekvenčních měničů důležitých pro naplnění zadaného cíle diplomové práce. Hlavními parametry pro výběr byly možnosti komunikačních rozhraní a dostupné metody řízení.

Tab. č. 2 Porovnání hlavních parametrů frekvenčních měničů

Typ	ATV930U07M3	6SE6440-2AD22-2BA1
Výkon motoru [kW]	0,75	2,2
Napětí sítě [V]	200–240 (-10 ... +15 %)	380–480 ±10 %
Komunikační rozhraní	EtherNet/IP, ModBus TCP, ModBus RTU	Profibus DP
Frekvence sítě [Hz]	50–60 (± 5 %)	47–63
Výstupní frekvence [Hz]	0,1–599	0–650
Počet diskrétních vstupů	10	6
Počet diskrétních výstupů	2	3
Počet analogových vstupů	3	2
Počet analogových výstupů	2	2
Metoda řízení	Skalární, Vektorová, Sensorless vector	Skalární
Rok výroby	2018	2008

Výsledkem z porovnání parametrů byla volba konceptu realizace řešení praktické části diplomové práce s produkty od společnosti Schneider Electric.

5.2 Návrh řešení praktické části

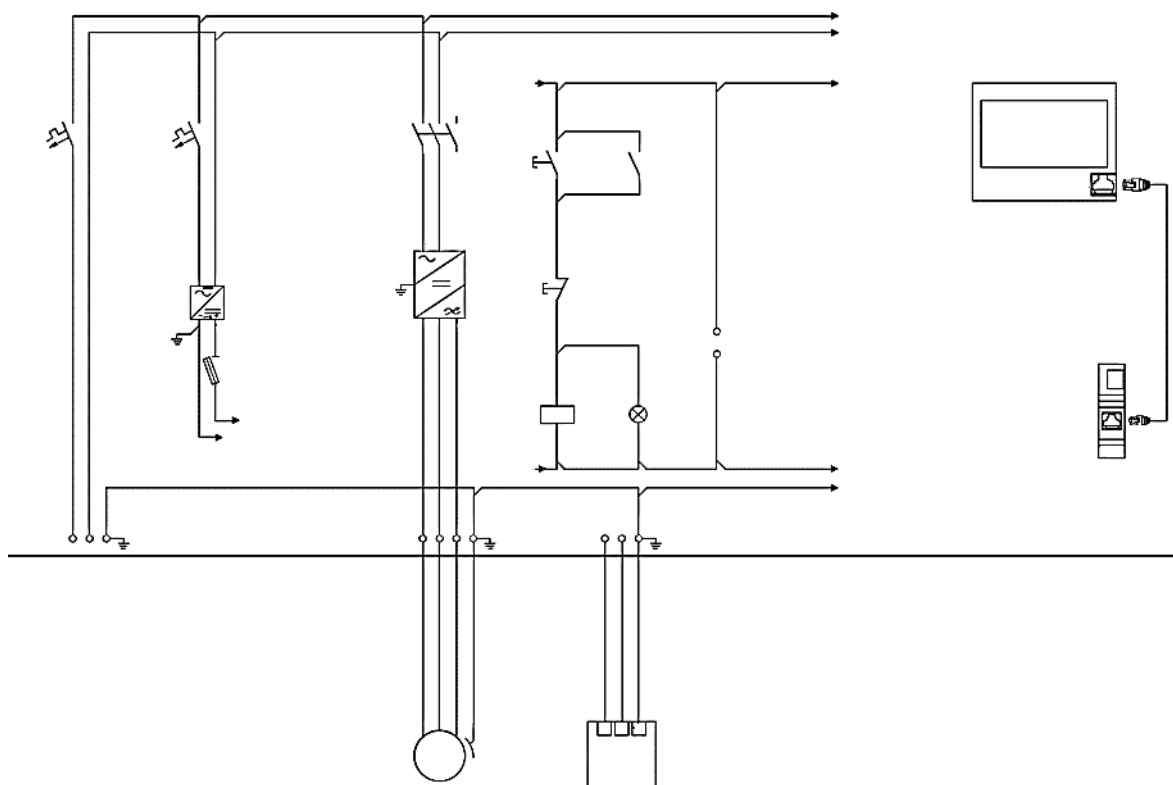
Jak již bylo zmíněno dříve byl přijat koncept řešení na bázi produktů od společnosti Schneider Electric. Započala etapa návrhu sestavy elektrického pohonu, ve které bylo potřebné navrhnout řešení pro realizaci. Návrh řešení byl realizován v následující časové posloupnosti:

- 1) návrh elektrického zapojení komponent sestavy elektrického pohonu,
- 2) návrh mechanického uspořádání komponent sestavy elektrického pohonu,
- 3) návrh praktické úlohy,
- 4) návrh vizualizace pro praktickou úlohu,
- 5) návrh rozsahu přenášených dat po komunikační vazbě.

5.2.1 Návrh elektrického zapojení

Vstupem pro řešení návrhu elektrického zapojení byly informace o jmenovitých napětích a proudech, které byly zjištěny ze štítkových údajů asynchronního motoru, z katalogového listu frekvenčního měniče a dotykového displeje. Tyto informace jsou v návrhu důležité z důvodu správné volby jisticích prvků, dostatečného dimenzování zdroje 230VAC/24VDC a vhodného určení průřezů vodičů elektrického vedení. Dalším kritériem byl záměr navrhnout sestavu elektrického pohonu pro další možné využití ve výuce. Vlastní návrh elektrického zapojení byl realizován za pomoci CAD systému. Výstup z této etapy je výkres elektrického zapojení sestavy elektrického pohonu viz Obr. 22 pro ilustraci a Příloha č.1 jako podklad pro provedení elektrického zapojení sestavy pohonu.

Obr. 22 Elektrické zapojení sestavy elektrického pohonu



5.2.2 Návrh mechanického uspořádání

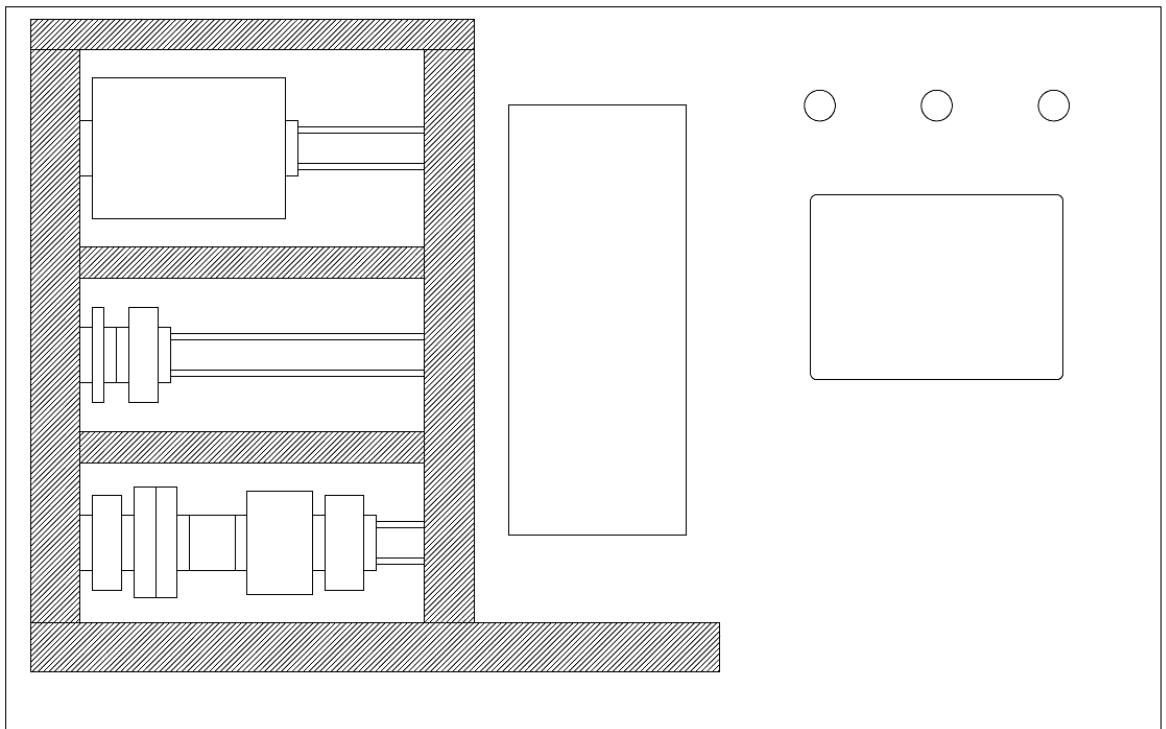
Dalším krokem v realizaci bylo provedení návrhu mechanického uspořádání sestavy elektrického pohonu. Vstupními informacemi pro tuto část byly prostorové dispozice navržených komponent a požadavky komponent na umístění z důvodů požadavků na chlazení výkonových částí. Dalším kritériem byl rozměr montážní desky, na které jsou komponenty uchycené. Také byl respektován záměr navrhnout sestavu elektrického pohonu umožňující další možné využití ve výuce tzn. byly vytvořeny prostorové rezervy pro další možné využití. V této části byl také řešen návrh podpůrné konstrukce, která zajistí stabilitu sestavy a možnost pohodlné práce se sestavou. Výstupy z tohoto stadia řešení praktické části jsou:

- 1) výkres montážních otvorů sloužící pro provedení otvorů k uchycení komponent sestavy,
- 2) výkres osazení přístrojů určený k provedení instalace komponent sestavy,

- 3) výkres konstrukce podpěry sloužící k výrobě konstrukce podpěry pro sestavu pohonu.

Výkresy jsou uvedeny v přílohách č. 2. až č. 4. pro ilustraci je uveden Obr. 23 z přílohy č. 3. Výkresy mechanického uspořádání byly vytvořeny pomocí byly realizovány za pomoci CAD systému.

Obr. 23 Rozmístění komponent na desce sestavy elektrického pohonu



5.2.3 Návrh praktické úlohy

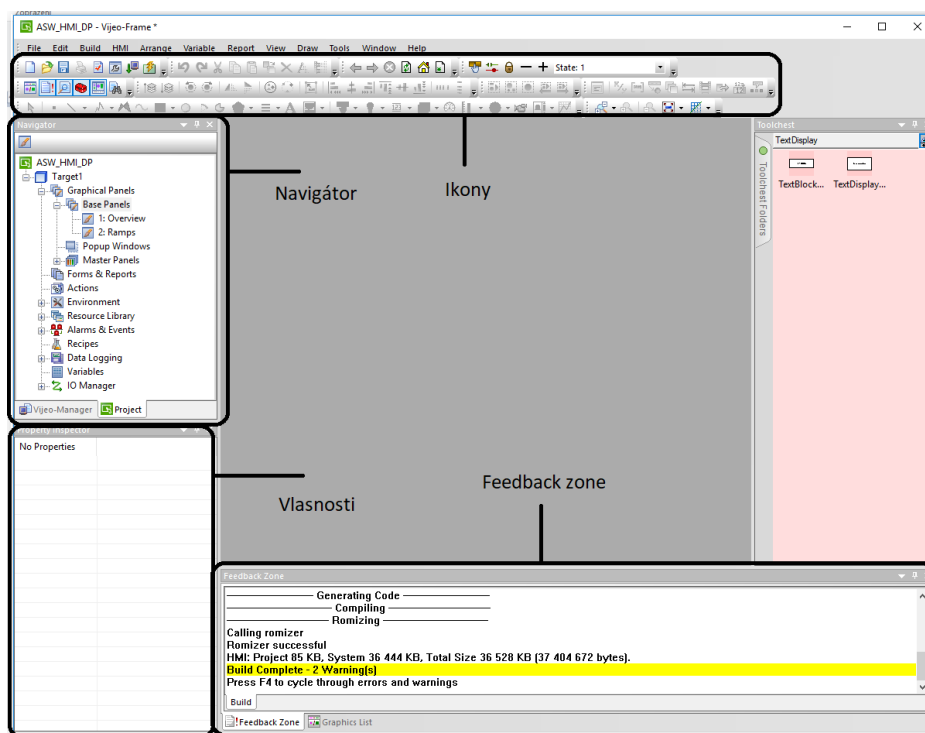
V této fázi práce byl řešen návrh praktické úlohy. Návrh úlohy byl vytvořen na základě zadaného cíle práce, znalostí nabytých při tvorbě teoretické části práce a znalostí o použitých zařízeních. Z teoretických znalostí a možností přístrojového vybavení byla pro realizaci vybrána praktická úloha na téma řízení asynchronního motoru frekvenčním měničem v těchto provozních stavech: rozběh, doběh a následné vyhodnocení elektrických veličin na vstupu v meziobvodu a na výstupu z frekvenčního měniče. Elektrické veličiny byly vybrány z důvodu absence zátěže. Jako měřicí přístroj je využit vlastní frekvenční měnič, který je vybaven potřebnou měřicí aparaturou pro přímé měření a výpočetním aparátem pro výpočet veličin, které nejsou přímo měřeny.

Hodnoty jsou vizualizovány na grafickém dotykovém displeji, který zároveň slouží pro ovládání elektrického pohonu.

5.2.4 Návrh vizualizace

Pro tuto část návrhu byl jako vstup využit popis návrhu praktické úlohy. Jelikož byl vybrán vizualizační prostředek HMIDT351 byl pro tvorbu návrhu použit konfigurační nástroj Vijeo Designer 6.2 od společnosti Schneider Electric, který zároveň slouží k překladu a nahrání uživatelského software do instalovaného grafického panelu. Základní obrazovku před zahájením tvorby návrhu ilustruje Obr. 24.

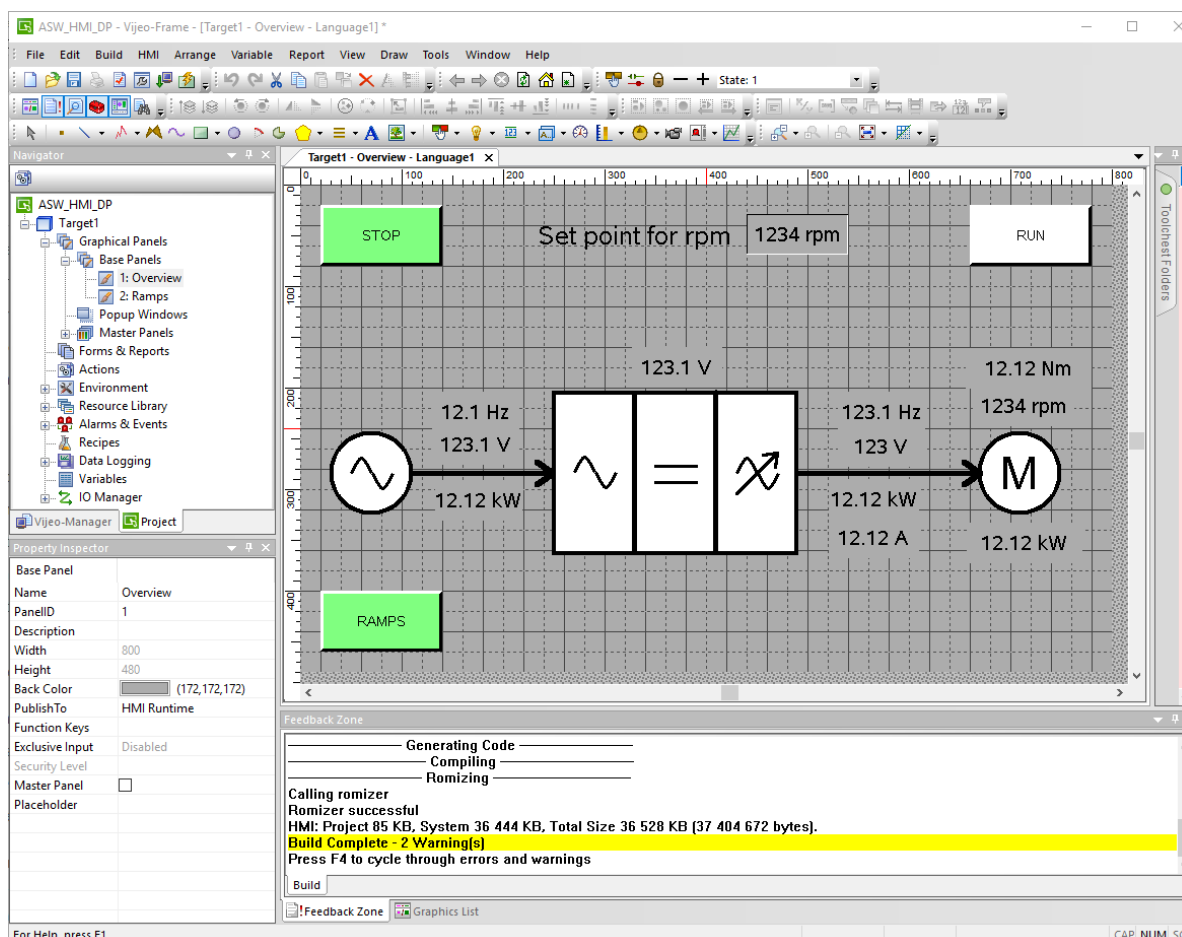
Obr. 24 Základní obrazovka nástroje Vijeo Designer 6.2



Po seznámení se základní obrazovkou Vijeo Designer 6.2 bylo přistoupeno k seznámení s tvorbou elementárních grafických prvků viz Obr. 25 použitých ve vizualizaci a následně

byl vytvořen návrh grafického rozhraní nasazeného v realizaci praktické úlohy. Návrh vizualizace je tvořen dvěma obrazovkami.

Obr. 25 Obrazovka nástroje Vijeo Designer 6.2 při návrhu uživatelského rozhraní

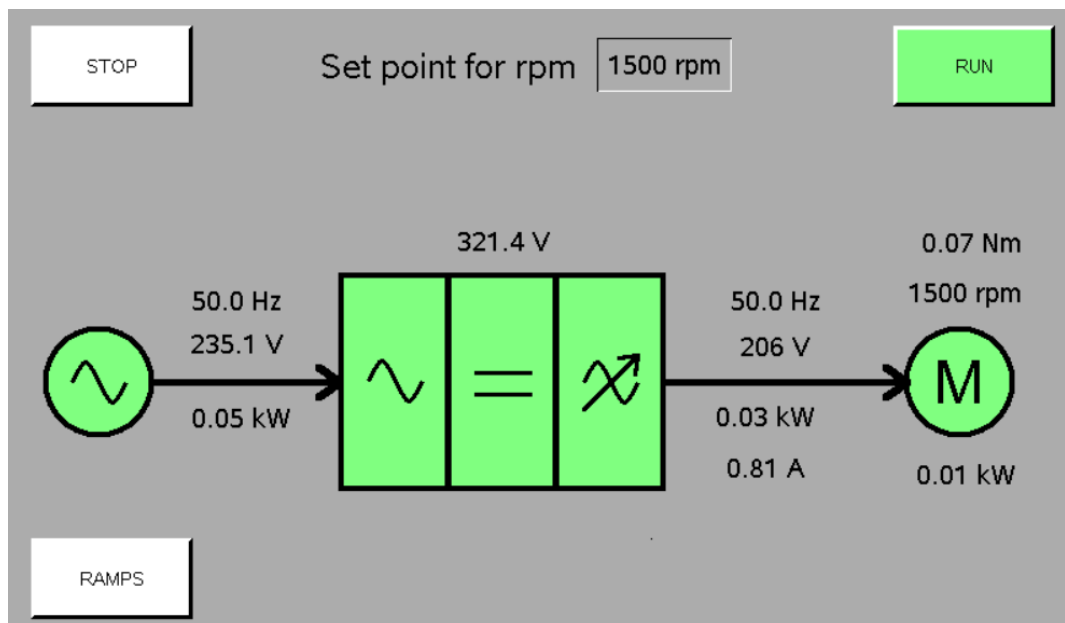


První obrazovka pojmenovaná Overview zobrazuje elektrický pohon jako celek s vybranými veličinami. Hodnoty veličin jsou umístěné v částech pohonu, ve kterých dochází k jejich měření nebo jsou k této části přiřazeny výpočtem. Výběr veličin byl omezen velikostí displeje a jejich důležitostí pro přehled o stavu elektrického pohonu:

- Hodnota vstupní frekvence.
- Hodnota napájecího napětí.
- Hodnota příkonu pohonu.
- Hodnota napětí v meziobvodu.
- Hodnota výstupní frekvence.
- Hodnota výstupního sdruženého napětí.

- Hodnota výstupního příkonu pro pohon.
- Hodnota výstupního fázového proudu.
- Hodnota momentu motoru.
- Hodnota rychlosti otáčení motoru.
- Hodnota mechanického výkonu na hřídeli motoru.

Obr. 26 Uživatelská obrazovka Overview

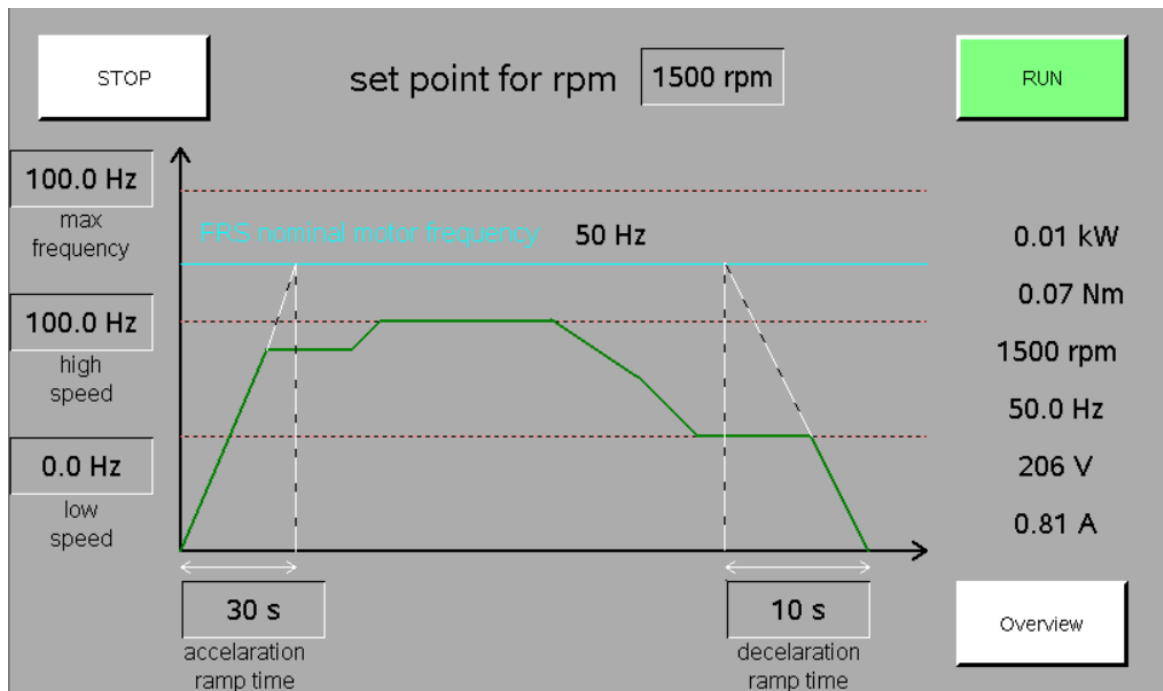


Z této obrazovky je možné zadat žádané otáčky a uvést pohon do stavu chod nebo naopak do vypnutého stavu viz Obr. 26.

Z uživatelské obrazovky Overview je možné tlačítkem “Ramps“ přejít na obrazovku nazvanou Ramps a ta je zobrazena na Obr. 27.

Obrazovka Ramps také umožňuje nastavit žádanou hodnotu otáček asynchronního motoru a uvádět pohon do zapnutého stavu nebo naopak do vypnutého stavu.

Obr. 27 Uživatelská obrazovka Ramps



Jedním účelem této obrazovky je umožnit uživatelské nastavení parametrů:

- a) maximální frekvenci,
- b) vysoké otáčky,
- c) nízké otáčky,
- d) doby akcelerace,
- e) doby brzdění.

Druhým účelem uživatelské obrazovky Ramps je zprostředkovat v pravé části obrazovky monitorování vybraných veličin (proud, napětí, frekvence, otáčky, moment a mechanický výkon na hřídeli a nastavenou jmenovitou frekvenci motoru) pro zkoumaný provozní režim asynchronního motoru. Pro lepší pochopení času ve vztahu k průběhu rampy rozběhu a času ve vztahu k průběhu rampy doběhu je zde uveden trend. K přechodu na obrazovku Overview slouží tlačítko "Overview".

Deklarace proměnných použitých ve vizualizaci je uvedena v Tab. č. 3.

Tab. č. 3 Deklarace proměnných použitých ve vizualizaci praktické úlohy

Name	Data Type	Device Address
Acceleration_Ramp_Time	UINT	%MW9001
DC_BUS	UINT	%MW3243
Deceleration_Ramp_Time	UINT	%MW9002
EPRW	INT	%MW3293
FM_CMD	INT	%MW8501
FM_ETA	INT	%MW3201
FM_LFRD	INT	%MW8602
FM_RFRD	INT	%MW8604
High_Speed	UINT	%MW3104
IPRW	INT	%MW3294
Low_Speed	UINT	%MW3105
Mains_Current	UINT	%MW13783
Mains_Frequency	INT	%MW13750
Mains_Voltage	UINT	%MW3207
Max_Frequecy	UINT	%MW3103
Motor_current	UINT	%MW3204
Motor_Frequency	INT	%MW3202
Motor_Torque_in_N·m	INT	%MW3268
Motor_Voltage	UINT	%MW3208
Nominal_Motor_Frequency	UINT	%MW9602
OPRW	INT	%MW3292

Pro výběr a deklaraci proměnných bylo čerpáno z dokumentu ATV900 – Communication Parameters NHA80944 V1 tzv. datové mapy. Tento dokument je součástí produktové dokumentace výrobce frekvenčního měniče Schneider Electric.

5.3 Realizace řešení praktické části

Realizace této části diplomové práce byla provedena na základě výstupů z předchozích etap praktické části z přijaté koncepce a provedení návrhu všech částí.

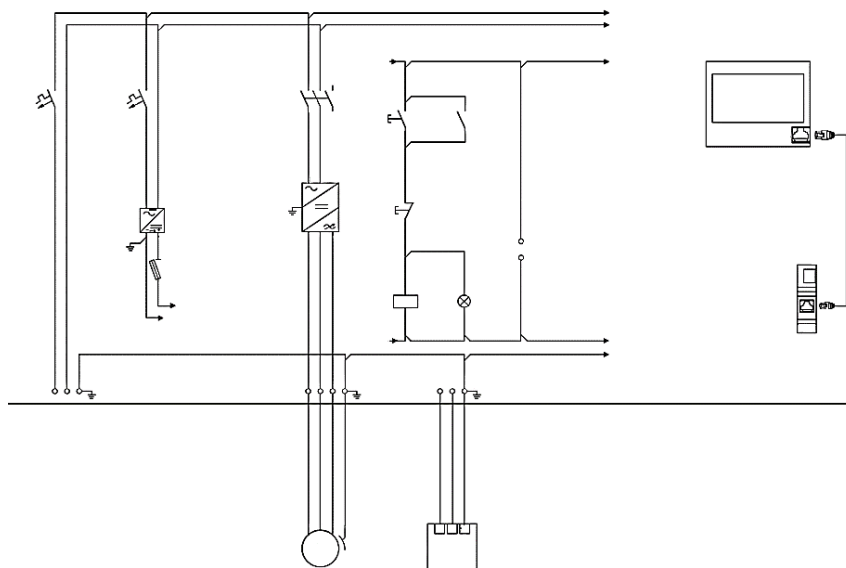
5.3.1 Realizace mechanického uspořádání

Realizace mechanického uspořádání komponent sestavy byla provedena ve dvou fázích. V první fázi realizace bylo uskutečněno rozměření a vytvoření otvorů pro uchycení komponent, které nelze uchytit na DIN lištu. Jednalo se o frekvenční měnič, grafický panel, tlačítka a signálky. Další činností bylo přichycení DIN lišt a perforovaných rozvaděčových žlabů o rozměrech 25 mm x 40 mm a 40 mm x 40 mm. Ještě před instalací žlabů byla vyrobena podpěrná konstrukce dle přílohy č. 4. Na výrobu konstrukce byl použit hliníkový profil L o rozměrech 20 mm x 20 mm. V druhé fázi realizace následovala instalace přístrojů a označení přístrojů podle přílohy č.2.

5.3.2 Realizace elektrického zapojení

Následujícím krokem v realizaci praktické části bylo provedení zapojení elektrických obvodů. Zapojení obvodů je provedeno podle přílohy č. 1. vodiči typu CYA respektive H05V-K. Barevné provedení vodičů pro jednotlivé obvody vychází ze standardních zvyklostí. Dimenze vodičů je volena dle jmenovitého proudu předřazených jisticích prvků.

Obr. 28 Elektrické schéma zapojení sestavy elektrického pohonu



Přívodní vedení k sestavě elektrického pohonu je realizováno ohebným kabelem s PVC izolací H05VV-F 3x2,5. Přívodní kabel je ukončen dvojpólovou vidlicí s postranním vývodem pro připojení do zásuvky o jmenovitém napětí 230VAC.

Jak je patrné z Obr. 28 je celá sestava je napájena 230VAC, ačkoliv je asynchronní motor konstruován na trojfázový proud. Tím je ověřena jedna z užitečných vlastností frekvenčního měniče, která je uvedena v teoretické části práce. Pro tento způsob provozování frekvenčního měniče je nutné provést příslušné nastavení v konfiguračním menu frekvenčního měniče. Po dokončení této etapy byla sestava připravena k oživení viz Obr. 29.

Obr. 29 Foto sestavy elektrického pohonu před oživením úlohy



Důležité elektrické parametry frekvenčního měniče jsou uvedeny v Tab. č.4.

Tab. č. 4 Parametry frekvenčního měniče

Název parametru	Hodnota parametru	Jednotky parametru
Typ	ATV930U07M3	-
Verze	Standardní verze s brzdou tlumivkou	-
Použití	Asynchronní motory Synchronní motory	-
Frekvence sítě	50–60 ($\pm 5\%$)	[Hz]
Počet fází sítě	3	-
Napětí sítě	200–240 (- 10–15 %)	[V]
Výkon motoru	0,75 (normální provoz) 0,37 (těžký provoz)	[kW]
Proud sítě	2,6 (při 240 V, normální provoz) 1,7 (při 240 V, těžký provoz)	[A]
Výstupní frekvence	0,1–599	[Hz]

5.3.3 Realizace nastavení parametrů frekvenčního měniče

Po ukončení realizace zapojení a odzkoušení elektrického zapojení sestavy byl dalším krokem v naplnění cíle práce konfigurace parametrů frekvenčního měniče pro uvažovanou aplikaci. Parametrizaci frekvenčního měniče je možné provádět třemi způsoby:

- 1) webové rozhraní (prohlížeč),
- 2) terminál (rozhraní HMI na frekvenčním měniči),
- 3) SoMove (konfigurační a diagnostický software od výrobce).

První způsob parametrizace nebyl využit je zde uveden pouze pro úplnost. Druhý způsob nastavení parametrů je možné provádět přes terminál frekvenčního měniče. Tento způsob byl využit pro nastavení prvotních parametrů. Následně bylo umožněno využít nástroj

SoMove nainstalovaný v PC. Nástroj SoMove umožňuje také diagnostiku pohonu a zobrazení hodnot zpracovávaných frekvenčním měničem. Zadání jmenovitých parametrů asynchronního motoru bylo uskutečněno v záložce Parameters Layout viz Obr. 30. Důležitý parametr, který musel být změněn je parametr IPL (Input Phase Lost). Jak bylo uvedeno výše je frekvenční měnič je určen pro provoz v síti o jmenovitém napětí 3x230VAC, přesto je však v sestavě napájen napětím 1x230VAC, což je přípustné pouze pokud je frekvenční měnič dostatečně dimenzován z pohledu výkonové zatížitelnosti. V tomto případě je připojen motor o jmenovitém výkonu 0,25 kW a frekvenční měnič může dodávat příkon pro motor o výkonu až 0,75 kW. Z toho plyne výkonová rezerva a je tedy možné takto frekvenční měnič provozovat. Seznam konfigurovaných parametrů a jejich hodnoty jsou uvedené v Příloze č. 7. Celkem bylo nakonfigurováno 21 parametrů. Další část parametrů je definována automaticky během provozu pohonu. Zbytek parametrů byl změněn automaticky na základě výpočtů frekvenčního měniče z veličin, které ovlivňuje připojený asynchronní motor.

Obr. 30 Zadání parametrů motoru v nástroji SoMove

The screenshot shows the 'Set the motor' configuration window. It contains the following parameters and values:

Parameter	Value	Unit
BFR : Basic frequency :	<input checked="" type="radio"/> 50Hz IEC <input type="radio"/> 60Hz NEMA	
IPL : Input Phase Loss assign...	Ignore	
NPR : Nominal motor power:	0.25	kV
UNS : Nominal motor voltage:	220	V
NCR : Nominal motor current:	1.33	A
FRS : Nominal Motor Frequency:	50	Hz
NSP : Nominal motor speed:	1380	rpm
ITH : Motor Thermal Current:	1.33	A

Vzhledem k tomu, že praktická část je zaměřena také na vizualizaci, bylo nutné provést nastavení parametrů pro umožnění komunikace s grafickým displejem. Nejdříve byla nastavena IP adresa na hodnotu 10.0.0.5, maska podsítě je nastavena na rozsah 255.225.225.0 nastavení dalších parametrů je vidět z Obr. 31.

Obr. 31 Nastavení IP adresy frekvenčního měniče

— IP Address

Device name:	ATV930	
IP assignment mode:	Fixed address	Select the IP address assignment method
IP Address:	10 . 0 . 0 . 5	
Subnet Mask:	255 . 255 . 255 . 0	
Gateway address:	0 . 0 . 0 . 0	
Rate setting:	Auto detected	Rate and data setting
Rate setting:	Auto detected	Rate and data setting
Storm protection:	1 (Highest)	
Swap word order	Modbus Word Order ON	

V dalším kroku byl definován komunikační protokol. Frekvenční měnič je v souladu se současnými trendy v oblasti komunikačních protokolů. Byl pro přenos informací mezi frekvenčním měničem a grafickým displejem vybrán protokol EtherNet/IP na bázi ethernetu. Bylo nutné vybraný protokol nastavit ve frekvenčním měniči, nastavení je patrné z Obr. 32.

Obr. 32 Nastavení protokolu EtherNet/IP

— Protocols & Drive Profiles

Protocol

EtherNet Protocol : Modbus TCP
 EtherNet / IP

— EtherNet / IP

IO Connection Profile 100/101 Generic Altivar

Fallback Mode Freewheel stop

ⓘ Modification of the IO Profile will be taken into account only if the IO scanner is stopped (use the IO scanner control bits in the M580 or BME NOC Device DDT, or use a PLC)

Pro řízení otáček vzhledem k absenci snímače otáček motoru byla vybrána tzv. pseudovektorová metoda což je nepřímá vektorově orientovaná metoda založená na principu měření napětí a proudu viz Nepřímá metoda s využitím měření napětí 4.4.7. Nastavení této metody v konfiguraci frekvenčního měniče dokládá Obr. 33. Tento parametr není obsažen v Příloze č. 7, protože jeho hodnota je shodná s hodnotou tovární, resp. výchozí.

Obr. 33 Nastavení metody řízení otáček

Code	Long Label	Current Value	Default Value
DRT	Dual rating state	Normal duty	Normal duty
CTT	Motor control type	Sensorless flux vector V	Sensorless flux vector V

Výše uvedené nastavení je pouze nutné minimum potřebné k realizaci praktické práce. Konfigurace frekvenčního měniče nástrojem SoMove skýtá nepřehledné množství nastavení parametrů pro provoz elektrického pohonu.

5.3.4 Zprovoznění praktické úlohy

V předposlední etapě bylo uskutečněno zprovoznění praktické úlohy na vytvořené sestavě elektrického pohonu.

Zprovoznění praktické úlohy znamenalo uvedení v činnost komunikační vazbu mezi nakonfigurovaným frekvenčním měničem a aplikací instalovanou v grafickém panelu. Zprovoznění komunikační vazby obsahovalo následující úkony.

- 1) Fyzické propojení obou komponent kabelem UTP (Unshielded twisted pair) cat. 5. Ukončeným na obou koncích konektorem RJ-45 (8P8C).
- 2) Nahrání uživatelského software do grafického panelu pomocí nástroje Vijeo Designer vytvořeného v části návrhu vizualizace.

5.4 Ověření správné funkce praktické úlohy

Po provedení výše uvedených úkonů následovalo odzkoušení praktické úlohy.

Odzkoušení praktické úlohy bylo provedeno způsobem ověřujícím správnou funkci:

1. Povelů, respektive tlačítek na obrazovce grafického displeje (“RUN“, “STOP“, “RAMPS“, “OVERVIEW“)
2. Číselných Text Box pracujících ve vstupním módu pro zadávání hodnot parametrů (Set point for rpm, max frequency, high speed, low speed, acceleration ramp time, deceleration ramp time).
3. Vyčítaných velikostí hodnot veličin zpracovávaných frekvenčním měničem.
4. Vypnutí elektrického pohonu způsobeného přerušením komunikace.

Postup odzkoušení bodu 1.

- a. Na výchozí obrazovce Overview byla zadána požadovaná hodnota otáček 500 rpm, následně byl vyslán povel RUN dotykem na tlačítko RUN. Výsledkem byl rozběh asynchronního motoru. Vyhodnocení proběhlo vizuálně na motoru a grafickém panelu.
- b. Odstavení pohonu bylo vyzkoušeno za chodu asynchronního motoru byl vyslán povel STOP dotykem na tlačítko STOP. Výsledkem zkoušky bylo uvedení motoru do klidového stavu. Vyhodnocení proběhlo vizuálně na motoru a grafickém panelu.
- c. Zkouška funkce tlačítek RAMPS, OVERVIEW proběhla na grafickém panelu. Výsledkem bylo přepínání obrazovek na grafickém displeji. Vyhodnocení proběhlo vizuálně na grafickém panelu.

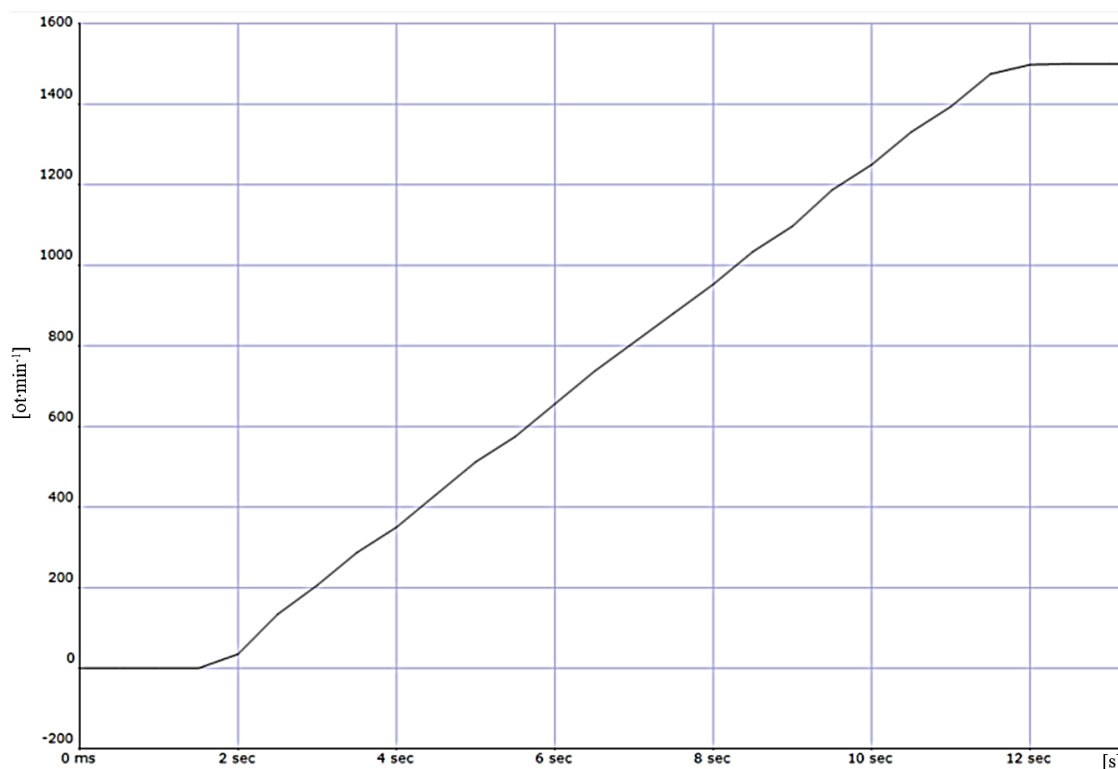
Postup odzkoušení bodu 2.

- a. Odzkoušení zadání požadované hodnoty otáček 500 rpm bylo odzkoušeno v rámci zkoušky uvedení do chodu bod 1.a. Následovaly změny hodnoty žádaných otáček v krocích po 500 otáčkách v rozmezí 500 až 2000. Výsledkem byla požadovaná reakce asynchronního motoru na změnu hodnoty parametru. Vyhodnocení proběhlo vizuálně na motoru a grafickém panelu.
- b. Funkčnost nastavení parametru max frequency byla odzkoušena tak, že byla zadána hodnota 10 Hz a nastavena žádána hodnota otáček na hodnotu 1000. Poté byl pohon spuštěn. Výsledkem byla frekvence 10 Hz vrácená měničem. Tato hodnota je správná, jelikož odpovídá zadané hodnotě parametru max frequency. Vyhodnocení proběhlo vizuálně grafickém panelu.
- c. Funkčnost nastavení parametru high speed byla odzkoušena tak, že byla zadána hodnota 10 Hz a nastavena žádána hodnota otáček na hodnotu 1000. Poté byl pohon spuštěn. Výsledkem byla frekvence 10 Hz vrácená měničem Tato hodnota je správná, jelikož odpovídá zadané hodnotě parametru high speed. Vyhodnocení proběhlo vizuálně grafickém panelu.
- d. Funkčnost nastavení parametru low speed byla odzkoušena tak, že byla zadána hodnota 25 Hz a nastavena žádána hodnota otáček na hodnotu 100. Výsledkem

byla frekvence 25 Hz vrácena měničem. Tato hodnota je správná, jelikož odpovídá zadané hodnotě parametru low speed. Vyhodnocení proběhlo vizuálně grafickém panelu.

- e. Funkčnost nastavení parametru acceleration ramp time, byla odzkoušena tak, že byla zadána hodnota 10 s a nastavena žadána hodnota otáček na hodnotu 1500. Následně byl spuštěn Analyzátor (na záložce Scope) v nástroji SoMove pro záznam průběhu naběžné rampy. Po spuštění analyzátoru byl spuštěn i pohon. Po ukončení provozního režimu rozběh byl analyzátor ukončen a motor vypnut. Vyhodnocení bylo provedeno ze záznamu rozběhové rampy z analyzátoru v nástroji SoMove viz Obr. 34.

Obr. 34 Záznam průběhu naběžné rampy

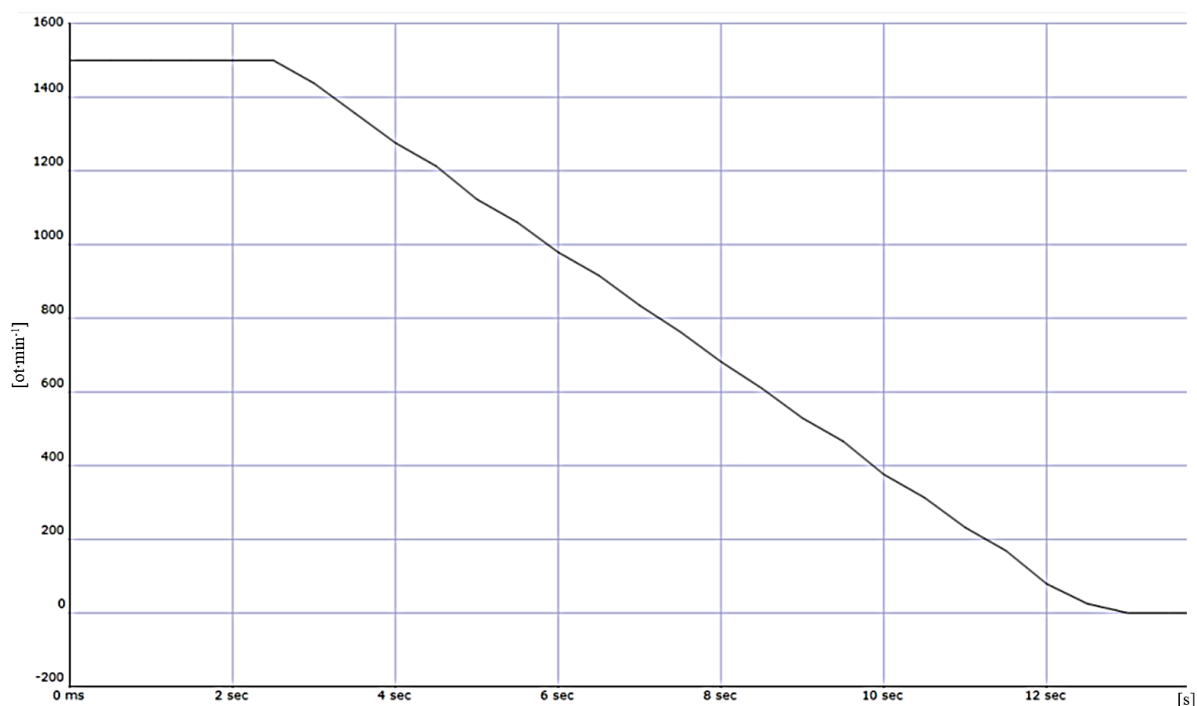


Náběh z nulových otáček asynchronního motoru do žadané hodnoty otáček odpovídá, žadané hodnotě parametru.

Správná funkce nastavení parametru decalaration ramp time byla odzkoušena tak, že byla zadána hodnota 10 s a nastavena žadána hodnota otáček na hodnotu 1500. Následně byl

spuštěn pohon po dosažení žádané hodnoty otáček byl spuštěn analyzátor (na záložce Scope) v nástroji SoMove pro záznam doběhové rampy. Po spuštění analyzátoru byl pohon vypnut. Po ukončení provozního režimu doběh byl analyzátor ukončen. Vyhodnocení bylo provedeno ze záznamu doběhové rampy z Analyzátoru v nástroji SoMove viz Obr. 35.

Obr. 35 Záznam průběhu rampy doběhu motoru



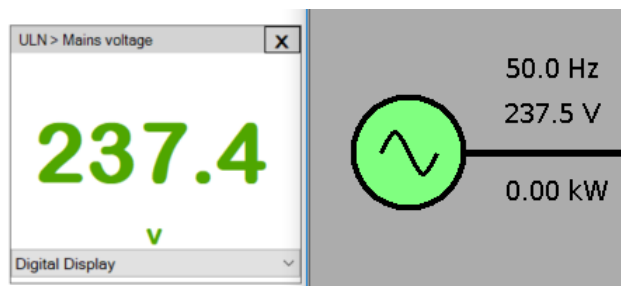
Postup odzkoušení bodu 3.

Vzhledem k rozsahu přenášených veličin viz kap. Návrh vizualizace 5.2.4 a totožnému postupu zkoušek u všech přenášených veličin není v následujícím postupu popsán postup zkoušek pro jednotlivé veličiny, ale je uvedena zkouška pouze pro jednu hodnotu. Zkoušky jsou principiálně shodné pro všechny veličiny s tím rozdílem, že u některých je nutné mít v provozu frekvenční měnič s připojeným asynchronním motorem. Pro příklad byla vybrána hodnota síťového napětí ULN (mains voltage).

- a. Odzkoušení správného vyčítání velikosti hodnoty veličiny mains voltage měřené frekvenčním měničem. Hodnota byla přečtena z grafického panelu a následně

byla provedena komparace s hodnotou v nástroji SoMove. Výsledkem byla téměř shodná hodnota viz Obr. 36.

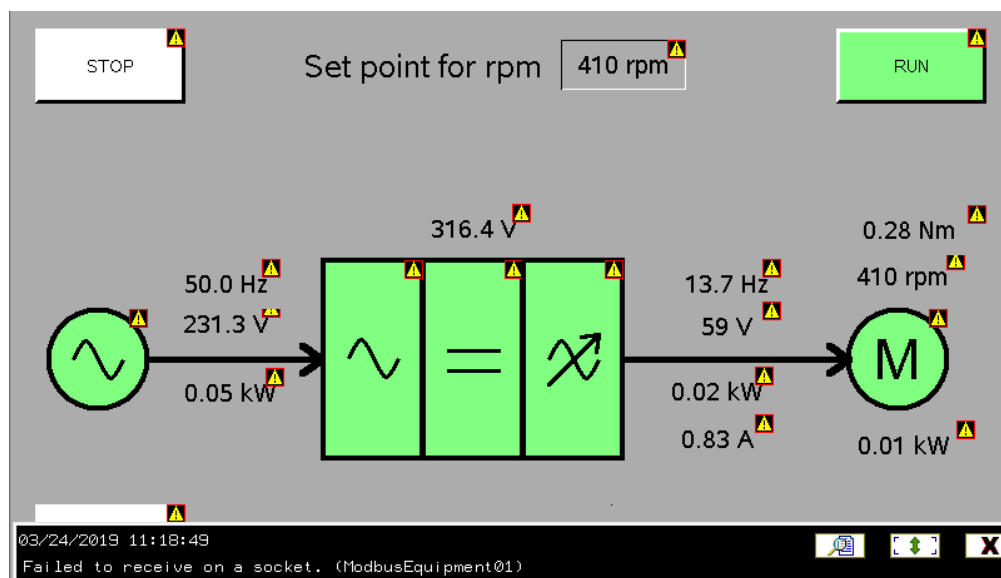
Obr. 36 Porovnání hodnot ULN mains voltage



Postup odzkoušení bodu 4.

Odzkoušení vypnutí elektrického pohonu způsobeného přerušením komunikace mezi frekvenčním měničem a grafickým panelem. Bylo provedeno tak, že za chodu motoru byla rozpojena komunikační vazba mezi frekvenčním měničem a grafickým panelem. Výsledkem byla požadovaná reakce asynchronního motoru, který odstavil dle zvolené doběhové rampy. Vyhodnocení proběhlo vizuálně na motoru a grafickém panelu. Na grafickém panelu se zobrazila informace o přerušení komunikace viz Obr. 37.

Obr. 37 Obrazovka s chybou komunikace



Výše uvedenými zkouškami byly prokázány požadované vlastnosti a chování řízení frekvenčního měniče ovládaného přes rozhraní grafického displeje.

5.5 Návod na obsluhu sestavy elektrického pohonu

V této kapitole je strukturovaně popsáno zprovoznění sestavy elektrického pohonu.

Krok	Úkon	Výsledek
1	Zapoj síťovou vidlici do zásuvky.	Svorkovnice – X1 a přívodní svorka jističe – FA1 jsou pod napětím.
2	Zapni jistič – FA1	Vstupní svorka jističe – FA2 a vstupní svorky stykače jsou pod napětím.
3	Zapni jistič – FA2	Zdroj – SG1 je uveden pod napětí a je v provozu. Vstupní svorka pojistkové svorky – FU1 je pod napětím.
4	Zapni pojistkovou svorku – FA1	Nabíhá grafický displej, a je pod napětím ovládací část (- SB1, - SB2, - HL1).
5	Stiskni tlačítko – SB1 (zapnout pohon)	Signálka – HL1 svítí, stykač – KM1 sepnul a najíždí frekvenční měnič.
6	Zadej žádané parametry na grafickém panelu a zmáčkni tlačítko RUN	Motor je v provozu podle zadaných parametrů.
7	Na grafickém panelu zmáčkni tlačítko STOP	Motor dobíhá dle nastavených parametrů-
8	Stiskni tlačítko – SB2 (vypnout pohon)	Signálka – HL1 nesvítí, stykač – KM1 rozeplnul a frekvenční měnič odstavuje.

V jakémkoliv provozním stavu elektrického pohonu jej lze odstavit stiskem tlačítka – SB2 (vypnout pohon) viz krok 8.

5.6 Návrh na laboratorní úlohu do cvičení

Zadání

Navrhněte a zrealizujte měřicí aparaturu pro měření skutečných otáček na hřídeli motoru, na které bude možné ověřit přesnost hodnoty vypočítaných otáček frekvenčním měničem. Měřicí aparatura bude složená z inkrementálního snímače otáček připevněného hřídeli motoru. Výstup inkrementálního snímače bude zaveden do vhodné vyhodnocovací jednotky, která může zároveň sloužit i jako zobrazovací jednotka případně může být použita i externí zobrazovací zařízení aktuální hodnoty skutečných otáček hřídele motoru.

Postup

Po uvedení sestavy elektrického pohonu do provozu nastavte na obrazovce Overview grafického displeje požadovanou hodnotu otáček na 100. Do tabulky o třech sloupcích viz Obr. 38 zapisujte žádanou hodnotu, hodnotu vypočítanou frekvenčním měničem odečtenou na grafickém displeji a hodnotu naměřenou inkrementálním snímačem rychlosti.

Obr. 38 Návrh tabulky pro laboratorní úlohu

Žádaná hodnota otáček [ot·min ⁻¹]	Hodnota naměřená frekvenčním měničem [ot·min ⁻¹]	Hodnota naměřená inkrementální čidlem [ot·min ⁻¹]
100		-

Žádanou hodnotu otáček zadávejte v kroku po 100 do dosáhnutí jmenovitých otáček asynchronního motoru uvedených na výrobním štítku motoru.

Cíl

Ověření přesnosti hodnoty rychlosti otáček vypočtené frekvenčním měničem a zobrazené na grafickém displeji.

6 Závěr

Tato diplomová práce byla pojata jako úvod do disciplíny zabývající se řízením elektrickými pohony. Hlouběji se zaměřuje na rozbor frekvenčních měničů a jejich možností řízení otáčivé rychlosti asynchronního motoru s klecovým rotorem. Praktická část je zaměřena na návrh a realizaci praktické úlohy řízení asynchronního motoru s klecovým rotorem s využitím vizualizace.

Práce byla provedena z důvodu prezentace současných trendů v oboru elektrických pohonů, respektive jejich částí – frekvenčních měničů, zejména pak v oblasti komunikačních rozhraní ve spolupráci s vizualizací rozhraní člověk – stroj.

V diplomové práci byly využity poznatky z dostupné odborné literatury, dokumentace výrobce frekvenčního měniče a grafického panelu.

Po nastudování teoretických možností a po prozkoumání možností frekvenčního měniče byla zvolena vektorová nepřímá metoda s čidly napětí pro řízení otáček asynchronního motoru bez použití snímače otáček. Následně byly prozkoumány možnosti komunikačních rozhraní frekvenčního měniče a grafického displeje. Poté byl vybrán vhodný komunikační protokol.

Výsledkem této diplomové práce je funkční sestava elektrického pohonu a na této stavě zprovozněná praktická úloha řízení asynchronního motoru frekvenčním měničem v jednotlivých režimech provozu (rozběh a doběh) s využitím vizualizace rozhraní člověk – stroj. Sestava elektrického pohonu v hodnotě cca 65 000 Kč je navržena a zrealizována tak, aby byla v budoucnu modifikovatelná pro další využití při výuce odborných předmětů katedry elektrotechniky a automatizace. Pro možné využití sestavy ve výuce je uveden v kapitole 8. návrh laboratorní úlohy do cvičení.

Jako další způsob využití této sestavy elektrického pohonu se nabízí připevnění asynchronního motoru na zkušební přípravek ve formě proměnlivé mechanické zátěže tak, aby bylo možno ověřit na asynchronním motoru bez použití snímače otáček všechny vlastnosti vektorové nepřímé metody s čidly napětí a následně aplikovat na sestavě další z možných metod řízení otáček asynchronního motoru. Dosažené výsledky z obou metod poté porovnat a vyhodnotit.

7 Seznam použité literatury

1. **Kobrlé, Pavel a Pavelka, Jiří.** *Elektrické pohony a jejich řízení.* Praha : České vysoké učení technické, 2016. 978-80-01-06007-0.
2. **Roubíček, Ota.** *Elektrické motory a pohony.* Praha : BEN - technická literatura, 2004. ISBN 978-80-7300-092-X.
3. **Pavelka, Jan a Čeřovský, Zdeněk.** *Výkonová elektronika I.* Praha : ČVUT, 2000. ISBN 80-01-00723-5.
4. **Javůrek, Jiří.** *Regulace moderních elektrických pohonů.* Praha : Grada Publishing, a.s., 2003. ISBN 80-247-0507-9.
5. **Technický list ATV930U07M3.** Schneider Electric. [Online] Dostupné z: <https://www.se.com/cz/cs/product/ATV930U07M3/>.
6. **ATV930/950 Installation manual (Verze 06).** Schneider Electric. [Online] Dostupné z: <https://www.se.com/cz/cs/product/ATV930U07M3/>.
7. **ATV900_Getting_Started.** Schneider Electric. [Online] Dostupné z: <https://www.se.com/cz/cs/product/ATV930U07M3/>.
8. **ATV900 Ethernet Embedded Manual EN NHA80940_02.** Schneider Electric. [Online] Dostupné z: <https://www.se.com/cz/cs/product/ATV930U07M3/>.
9. **ATV900 Programming Manual EN NHA80757 05.** Schneider Electric. [Online] Dostupné z: <https://www.se.com/cz/cs/product/ATV930U07M3/>.
10. **ATV900 Communication parameters NHA80944 V1.9.** Schneider Electric. [Online] Dostupné z: <https://www.se.com/cz/cs/product/ATV930U07M3/>.
11. **Magelis GTU_HMIDT351.** Schneider Electric. [Online] Dostupné z: <https://www.schneider-electric.com/en/product/HMIDT351/>.
12. **Magelis GTU_HMIG3U.** Schneider Electric. [Online] Dostupné z: <https://www.schneider-electric.com/en/product/HMIG3U/>.
13. **DIA5ED2140401EN.** Schneider Electric. [Online] Dostupné z: <https://www.schneider-electric.com/en/product/HMIDT351/>.

14. **Magelis GTU User Manual.** Schneider Electric. [Online] Dostupné z: <https://www.schneider-electric.com/en/product/HMIDT351/>.

15. **Product data sheet Vijeo Designer.** Schneider Electric. [Online] Dostupné z: <https://www.schneider-electric.com/en/product/VJDSNDTGSV62M/>.

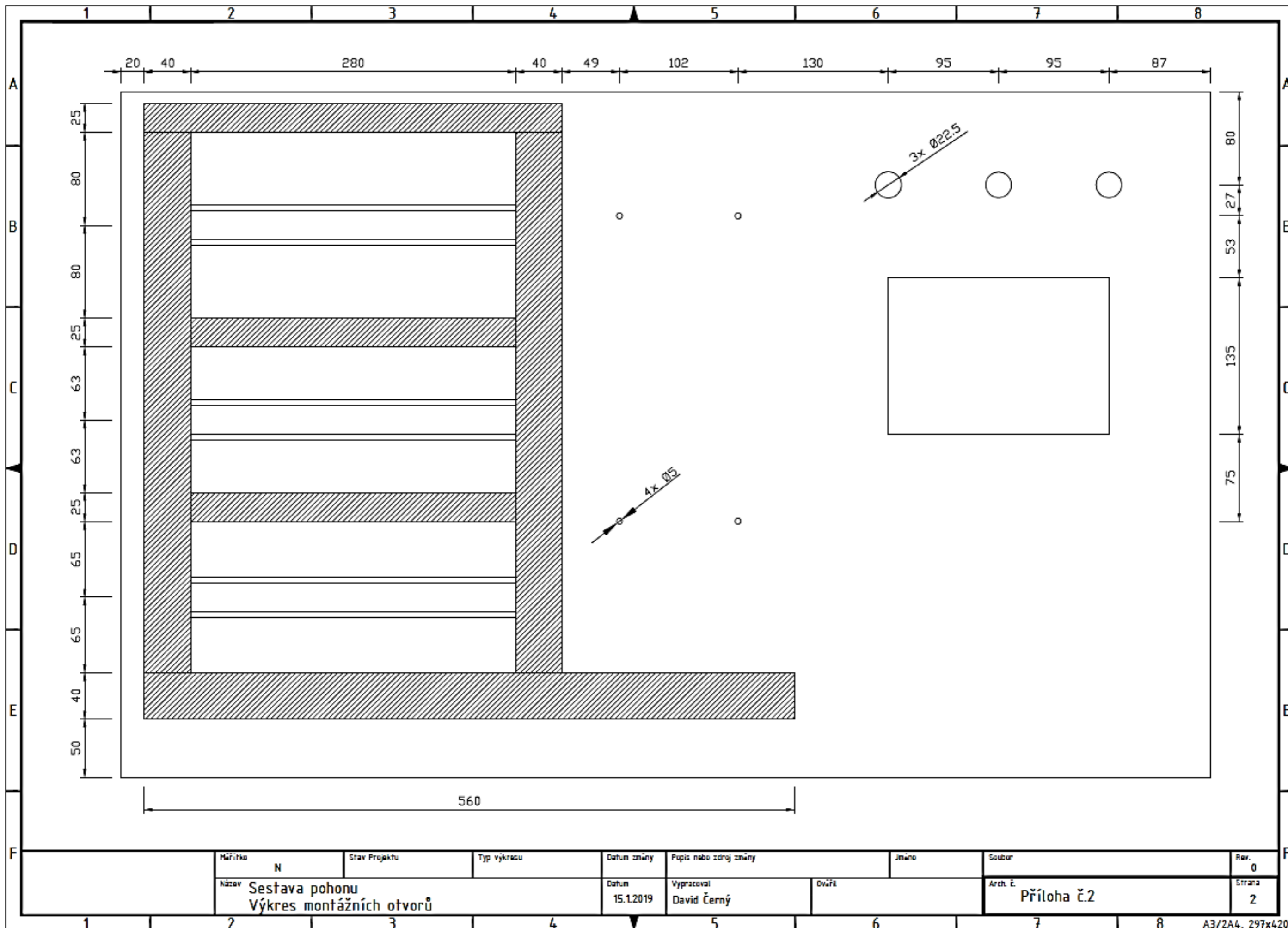
8 Seznam obrázků

Obr. 1 Základní elektricko-mechanické uspořádání el. pohonu	7
Obr. 2 Kvadranty Ω -M diagramu	9
Obr. 3 Principiální schéma indukčního motoru	12
Obr. 4 Mechanické charakteristiky asynchronního motoru při frekvenčním řízení	14
Obr. 5 Kompenzace úbytku na statorovém odporu R_1	15
Obr. 6 Možnosti dosažení pracovního bodu motoru.....	16
Obr. 7 Náhradní obvodové schéma Γ -schéma	18
Obr. 8 Vektorový diagram vektorově orientované regulace.....	18
Obr. 9 Vysvětlení požadavků na skokovou změnu momentu	19
Obr. 10 Rozdělení výkonových měničů	21
Obr. 11 Obvodové schéma třífázového napěťového střídače	23
Obr. 12 Blokované schéma nepřímého napěťového měniče frekvence	23
Obr. 13 Blokované schéma skalárního řízení asynchronního motoru.....	24
Obr. 14 Principiální schéma vektorové regulace	26
Obr. 15 Blokované schéma vektorové regulace s čidlem otáček rotoru.....	27
Obr. 16 Blokované schéma vektorové regulace s čidly napětí.....	28
Obr. 17 Historické řešení rozhraní člověk – stroj	30
Obr. 18 Obrazovka ze soudobého řešení rozhraní člověk – stroj	31
Obr. 19 Výřez obrazovky grafu z vizualizace rozhraní člověk – stroj	32
Obr. 20 Koncepce řešení s produkty společnosti Siemens	34
Obr. 21 Koncepce řešení s produkty společnosti Schneider Electric	35
Obr. 22 Elektrické zapojení sestavy elektrického pohonu.....	38
Obr. 23 Rozmístění komponent na desce sestavy elektrického pohonu.....	39
Obr. 24 Základní obrazovka nástroje Vijeo Designer 6.2	40
Obr. 25 Obrazovka nástroje Vijeo Designer 6.2 při návrhu uživatelského rozhraní.....	41
Obr. 26 Uživatelská obrazovka Overview	42
Obr. 27 Uživatelská obrazovka Ramps.....	43
Obr. 28 Elektrické schéma zapojení sestavy elektrického pohonu.....	45
Obr. 29 Foto sestavy elektrického pohonu před oživením úlohy	46
Obr. 30 Zadání parametrů motoru v nástroji SoMove.....	48
Obr. 31 Nastavení IP adresy frekvenčního měniče.....	49

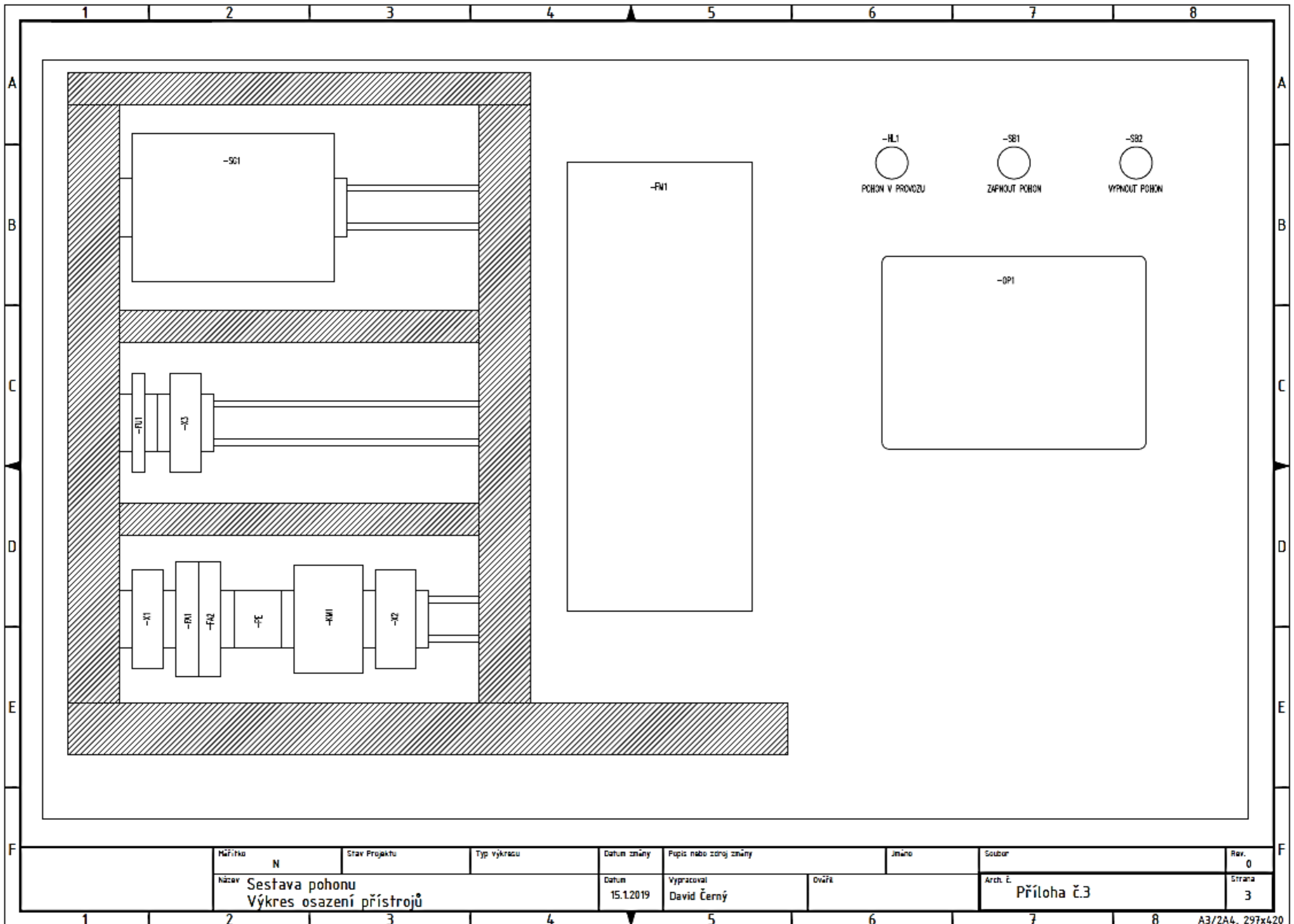
Obr. 32 Nastavení protokolu EtherNet/IP.....	49
Obr. 33 Nastavení metody řízení otáček.....	50
Obr. 34 Záznam průběhu náběžné rampy.....	52
Obr. 35 Záznam průběhu rampy doběhu motoru.....	53
Obr. 36 Porovnání hodnot ULN mains voltage	54
Obr. 37 Obrazovka s chybou komunikace.....	54
Obr. 38 Návrh tabulky pro laboratorní úlohu	56

9 Seznam příloh

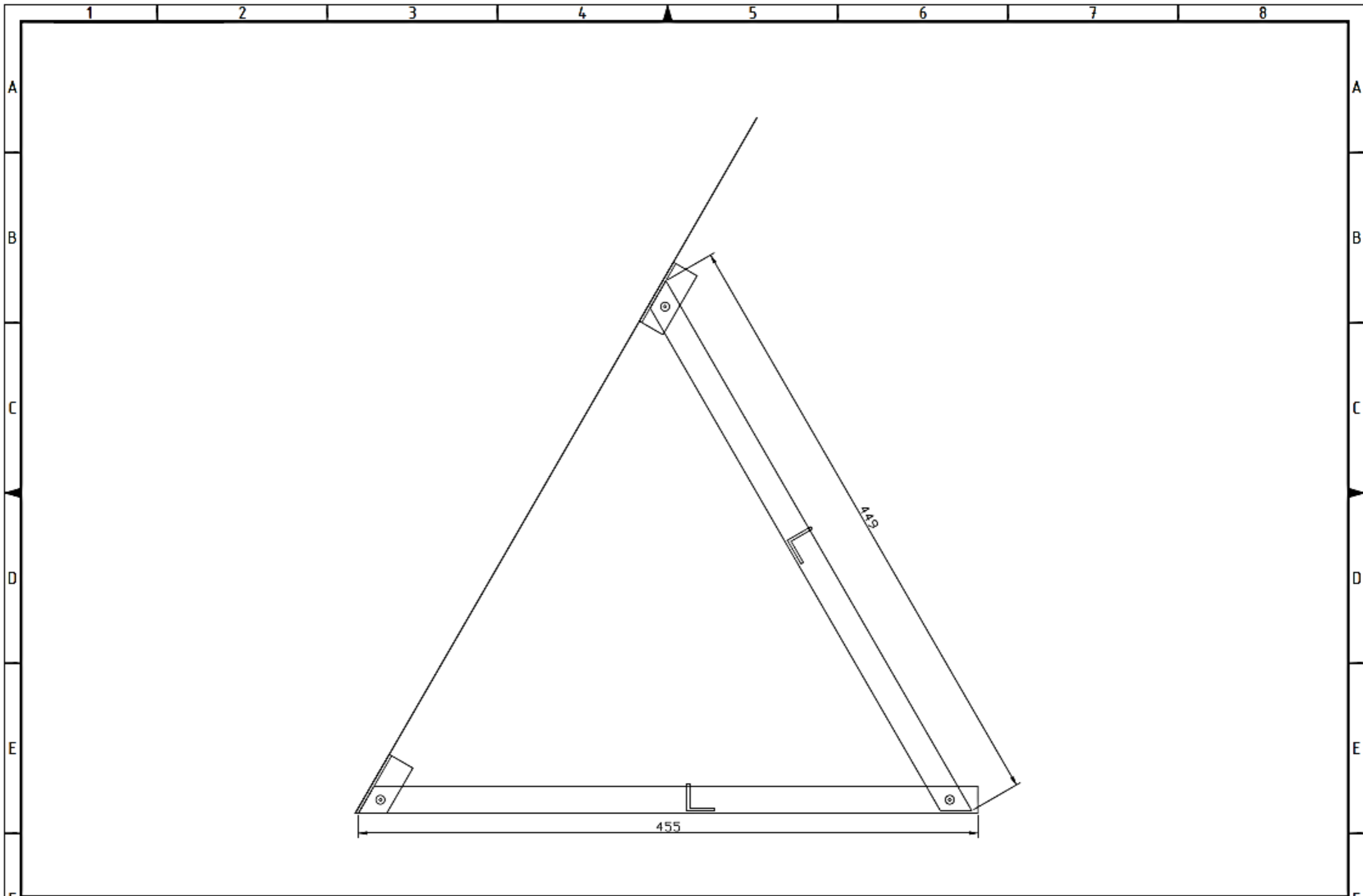
- | | |
|---------------|---|
| Příloha č. 1. | Sestava elektrického pohonu – Schéma zapojení |
| Příloha č. 2. | Sestava elektrického pohonu – Výkres montážních otvorů |
| Příloha č. 3. | Sestava elektrického pohonu – Výkres osazení přístrojů |
| Příloha č. 4. | Sestava elektrického pohonu – Výkres konstrukce podpěry |
| Příloha č. 5 | Technicko – Obchodní Specifikace |
| Příloha č. 6 | Fotografie sestavy elektrického pohonu |
| Příloha č. 7 | Tabulka parametrů nastavených ve frekvenčním měniči |



Mřížka	N	Stav Projektu	Typ výkresu	Datum změny	Popis nebo zdroj změny	Jméno	Sešit	Rev.	0
Název	Sestava pohonu Výkres montážních otvorů			Datum	15.1.2019	Vypracoval	David Černý	Ověřil	Arch. E.
Příloha č.2								Strana	2



Mřížka	N	Stav Projektu	Typ výkresu	Datum změny	Popis nebo zdroj změny	Jméno	Soubor	Rev.
Název	Sestava pohonu Výkres osazení přístrojů			Datum 15.1.2019	Vypracoval David Černý	Ověřil	Arch. č. Příloha č.3	Strana 3



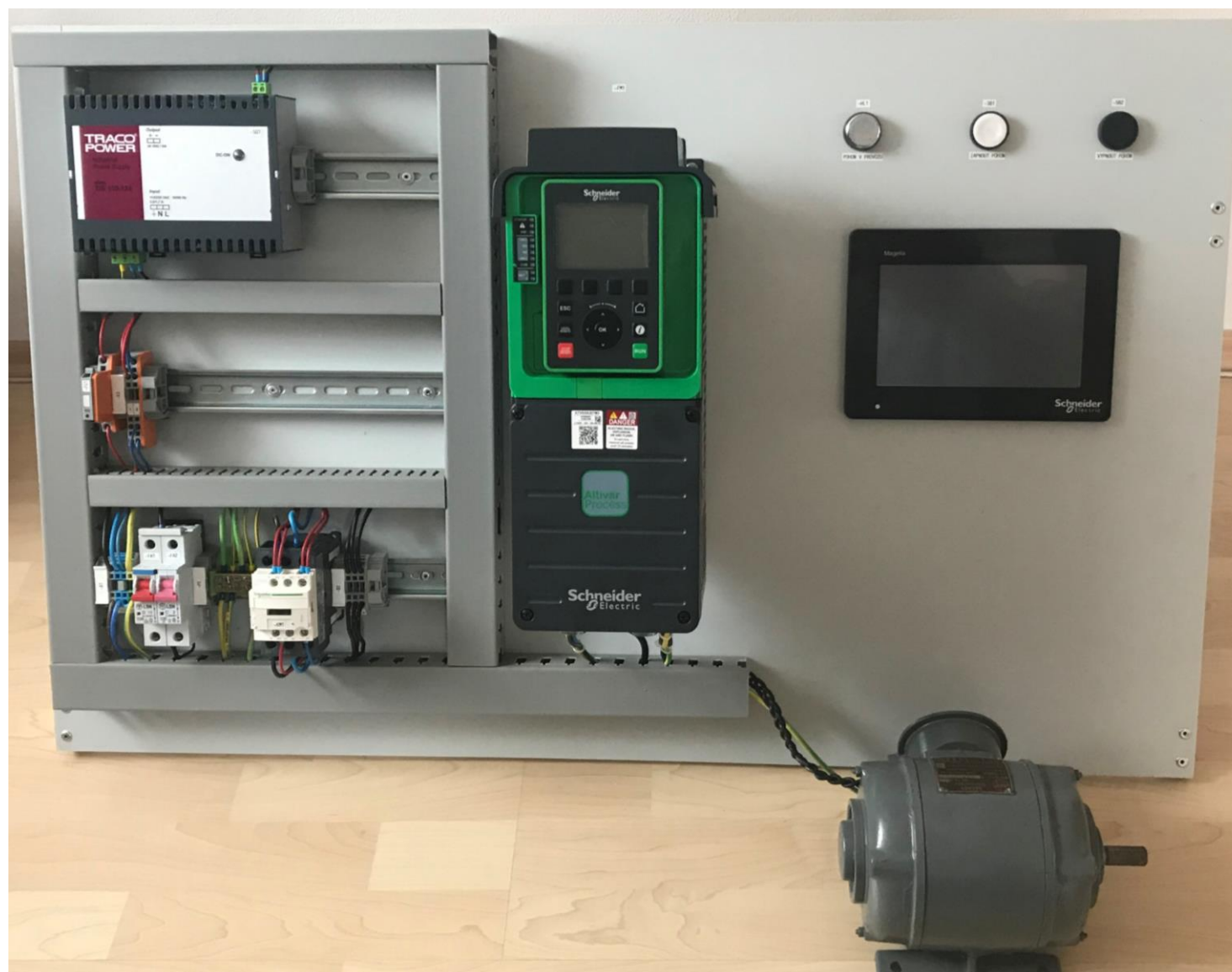
Mřížka	N	Stav Projektu	Typ výkresu	Datum změny	Popis nebo zdroj změny	Jméno	Soubor	Rev.	
Název	Sestava pohonu Výkres konstrukce podpěry			Datum	15.12.2019	Vypracoval	David Černý	Ověřil	
							Arch. č.	Příloha č.4	
								Strana	4

Příloha č.5

Technicko-obchodní specifikace								
Sestava pohonu								
ID	Proj. značení	Mn.	Mn. jed.	Typ	Popis	Výrobce	cena/mj	cena s DPH
1.	-FM1	1	ks	Altivar Process ATV900 - ATV930U07M3	Frekvenční měnič ATV930 - 0,75kW - 200...240V - 3f - IP21 - s brzdým modulem	Schneider Electric	16 912 Kč	16 912 Kč
2.	-OP1	1	ks	Magelis GTU - HMIDT351	Advanced Display - 7" TFT dotyk.262k barev, WVGA (800*480), 12-24VDC, IP67	Schneider Electric	15 849 Kč	15 849 Kč
3.	-OP1	1	ks	Magelis GTU - HMIG5U	Open BOX pro GTU, 2xserial, 4xUSB, 2xEthernet, DVI, 1xSD,2xCFast slot, 2GB-RAM	Schneider Electric	24 980 Kč	24 980 Kč
4.	-FA1	1	ks	LSN-10D-1	Jistič LSN-10D, 1-pólový, 10A, char. D	OEZ	251 Kč	251 Kč
5.	-FA2	1	ks	LSN-2C-1	Jistič LSN-2C, 1-pólový 2A, char. C	OEZ	281 Kč	281 Kč
6.	-SG1	1	ks	TIS 150-124	Napájecí zdroj na lištu DIN 144 W, 1výstupový 6A 24V DC	TRACO	4 086 Kč	4 086 Kč
7.	-FU1	1	ks	281-611/281-541	Svorka pojistková WAGO 281-611/281- 541,15- 30VAC/DC	WAGO	287 Kč	287 Kč
8.	-KM1	1	ks	LC1D25BD	Stykač LC1D25BD 25A 1Z+1V 24V DC, cívka s odrušovací modulem	Schneider Electric	1 401 Kč	1 401 Kč
9.	-SB1	1	ks	ZB5AA1	Ovládací hlavice bílá ZB5AA1, líčující	Schneider Electric	70 Kč	70 Kč
10.	-SB1	1	ks	ZBE5AZ009	Spojovací díl ZBE5AZ009	Schneider Electric	18 Kč	18 Kč
11.	-SB1	1	ks	ZBE101	Spínací jednotka ZBE101, 1Z	Schneider Electric	28 Kč	28 Kč

12.	-SB1	1	ks	ZBE102	Spínací jednotka ZBE102, 1V	Schneider Electric	28 Kč	28 Kč
13.	-SB2	1	ks	ZB5AA2	Ovládací hlavice černá ZB5AA2, líčující	Schneider Electric	69 Kč	69 Kč
14.	-SB2	1	ks	ZBE5AZ009	Spojovací díl ZBE5AZ009	Schneider Electric	18 Kč	18 Kč
15.	-SB2	1	ks	ZBE101	Spínací jednotka ZBE101, 1Z	Schneider Electric	28 Kč	28 Kč
16.	-SB2	1	ks	ZBE102	Spínací jednotka ZBE102, 1V	Schneider Electric	28 Kč	28 Kč
17.	-HL1	1	ks	HIS-95 W	Kontrolka bílá 24V AC/DC HIS-95 W	ELECO	107 Kč	107 Kč
18.	-X1:1	1	ks	280-601	Svorka WAGO 280-601 řadová, šedá	WAGO	24 Kč	24 Kč
19.	-X1:2	1	ks	280-604	Svorka WAGO 280-604 řadová, modrá	WAGO	24 Kč	24 Kč
20.	-X1:3	1	ks	280-607	Svorka WAGO 280-607 řadová, žlutozelená	WAGO	84 Kč	84 Kč
21.	-X2:1	1	ks	280-601	Svorka WAGO 280-601 řadová, šedá	WAGO	24 Kč	24 Kč
22.	-X2:2	1	ks	280-601	Svorka WAGO 280-601 řadová, šedá	WAGO	24 Kč	24 Kč
23.	-X2:3	1	ks	280-601	Svorka WAGO 280-601 řadová, šedá	WAGO	24 Kč	24 Kč
24.	-X3:1	1	ks	280-601	Svorka WAGO 280-601 řadová, šedá	WAGO	24 Kč	24 Kč
25.	-X3:2	1	ks	280-601	Svorka WAGO 280-601 řadová, šedá	WAGO	24 Kč	24 Kč
26.	-PE	1	ks	PE12	Nulovací můstek zelený PE12	Eleman	25 Kč	25 Kč
27.		13	ks	249-117	Svrčka WAGO 249-117 koncová	WAGO	15 Kč	195 Kč
28.		1	m	DIN 35	Lišta DIN PR-TS 35/F5A 2m	IBOCO	59 Kč	59 Kč
29.		2	m	I-T1-E 25x40 G	Rozvaděčový kanál s úzkou perforací I-T1-E 25x40 G	IBOCO	40 Kč	80 Kč
30.		2	m	T1-E 40x40 G	Rozvaděčový kanál s perforací I-T1-E 40x40 G	IBOCO	57 Kč	114 Kč
Cena celkem s DPH								65 166 Kč

Příloha č.6



Příloha č.7

Code	Long Label	Current Value	Default Value
ATR	Automatic Fault reset	Yes	No
BIP	Brake release pulse	No	Brake impulse Fwd
IBR	Brake Release current	3.5 A	1.33 A
FR1	Configuration reference frequency 1	Embedded Ethernet	All Analog input
FR1B	Configuration ref. 1B	Embedded Ethernet	Not configured
RIN	Reverse direction disable	Yes	No
CHCF	Control mode configuration	I/O Mode	Combined channel mode
CD1	Command channel 1 assign	Ethernet	Terminal block
CD2	Command channel 2 assign	Ethernet	Modbus communication
FR2	Configuration reference frequency 2	Embedded Ethernet	Not configured
FR2	Configuration reference frequency 2	Embedded Ethernet	Not configured
BMP	HMI command	Cmd/ref copied on c/over	Disabled
IPL	Input Phase Loss assignment	Ignore	Freewheel stop
ADD	Drive Modbus Address	1	Off
NPR	Nominal motor power	0.25 kW	0,75 kW
UNS	Nominal motor voltage	220 V	230 V
NCR	Nominal motor current	1.33 A	3.5 A
NSP	Nominal motor speed	1380 rpm	1400 rpm
LAC	Access Level	Expert access	Standard access
OPL	Output Phase Loss assignment	Function inactive	OPF error Triggered
IM00	IP Mode Ethernet Emdb	Fixed address	DHCP