VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ŘÍZENÍ POHONŮ PRŮMYSLOVÉHO ROBOTU POMOCÍ SYSTÉMŮ KEBA
CONTROL OF INDUSTRIAL ROBOT DRIVES BY KEBA SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Martin Heinrich
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Tomáš Kubela
SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	**Bc. Martin Heinrich**
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	**Ing. Tomáš Kubela**
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Řízení pohonů průmyslového robotu pomocí systémů KEBA

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem je implementace řídícího systému KEBA u staršího průmyslového robotu KUKA.

Cíle diplomové práce:

1. Identifikovat typ odměřování u stávajících pohonů robotu KUKA KR 15/2.
2. Navrhnout a realizovat propojení mezi odměřováním pohonů robotu a jeho řízením.
3. Zprovoznit polohování jednotlivých pohonů robotu.
4. Otestovat dráhové řízení robotu.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, Bruno a Oussama. KHATIB. Springer handbook of robotics. Berlin: Springer, c2008. ISBN 354023957X.

SICILIANO, Bruno, Lorenzo SCIAVICCO, Luigi VILLANI a Giuseppe ORIOLO. 2009. Robotics: Modelling, Planning and Control. 1. London: Springer London. ISBN 978-1-84628-642-1.

CORKE, Peter I. Robotics, vision and control: fundamental algorithms in MATLAB. Berlin: Springer, 2013. Springer tracts in advanced robotics, 73. ISBN 978-3-642-20143-1.

NOF, Shimon Y. Springer handbook of automation. New York: Springer, c2009. ISBN 3540788301.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá implementací řídicího systému KeMotion společnosti KEBA k průmyslovému robotu KUKA KR 15/2. Tedy zprovozněním původních pohonů robotu KUKA KR 15/2 s tímto novým systémem. Pro funkčnost samotného systému byla vytvořena komunikační síť mezi jednotlivými prvky řídicího systému a také nové spojení mezi řídicí skříní s novým řídicím systémem a robotem, především propojení zpětnovazební smyčky. Poté byl vytvořen a upraven řídicí program pro PLC včetně konfigurace pohonů a měničů. K tomuto nastavení bylo potřeba zjistit parametry resolveru, který je použit k nepřímému odměřování.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the implementation of the KeMotion control system of KEBA company for industrial robot KUKA KR 15/2. It gets to work original robot's drives KUKA with this new system. There was a communication network built up to operate the system itself. It was created between driving system component. Next step was a creation of the connection between control case and a new control system especially robot link up feedback. Later on there was a control programme for PLC created and adjusted including configuration of drives and converter. There was a need to find out the resolver parametr to this settings That one is used to the indirect measurement.

KLÍČOVÁ SLOVA

Řídicí systém, průmyslový robot, robot, PLC, resolver, servomotor

KEYWORDS

Control system, industrial robot, robot, PLC, resolver, servomotor

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HEINRICH, M. *Řízení pohonů průmyslového robotu pomocí systémů KEBA*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 80 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Kubela.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, Ing. Tomáši Kubelovi, za vedení a čas, který mi poskytnul. Dále pracovníkům společnosti Kesat, především pak panu Karlu Bláhovi a Ing. Pavlu Hermanovi za poskytnutí zdrojů a informací. Na závěr také rodině za veškerou podporu během studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením pana Ing. Tomáše Kubely a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017 ……

Heinrich Martin

OBSAH

1 ÚVOD 15

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ 17

3 SYSTÉM KEMOTION 19

4 SOFTWARE A HARDWARE SYSTÉMU KEMOTION 23

4.1 PLC (KeControl) 23
4.2 I/O modul (KeConnect) 24
4.3 Frekvenční měniče a motory (KeDrive) 25
4.3.1 Zvolené frekvenční měniče pro motory robotu KUKA KR15/2 26
4.4 Ruční ovládací panel (KeTop) 26
4.5 Stacionární ovládací panel (KeView) 28
4.6 Softwarový balík KeMotion 29
4.6.1 KeStudio 29
4.6.2 KeStudio DriveManager 30
4.6.3 KeMotion TeachView T55R 31
4.6.4 KeStudio Scope 32
4.6.5 KeStudio ViewEdit 32
4.6.6 KAIROEdit 32

5 ROBOT KUKA KR 15/2 33

5.1 Specifikace robotu KUKA KR15/2 33
5.1.1 Rychlosti a rozsahy pohybu os robotu 33
5.2 Motory robotu KUKA KR15/2 34

6 TOPOLOGIE SÍTĚ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU 37

6.1 SERCOS III 38
6.2 Adresy v síti 39

7 ŘÍDICÍ PROGRAM PRO PLC JEDNOTKU 41

7.1 Vytvoření řídicího programu 41
7.2 Nastavení velikostí a polohy ramen robotu 42
7.3 Uložení řídicího programu do PLC jednotky 43

8 TYP ODMĚŘOVÁNÍ POHONŮ KUKA KR 15/2 45

8.1 Rotační enkodéry 45
8.1.1 Resolver 45
8.1.2 Absolutní resolver 46
8.2 Identifikace parametrů odměřování 47
8.3 Popis průběhu měření resolveru 48
8.3.1 Připojení počítače k frekvenčnímu měniči 48
8.3.2 Nastavení frekvenčního měniče 48
8.3.3 Nastavení IP adresy a Gateway 49
8.3.4 Nastavení Node-id měniče 50
8.3.5 Nastavení Node-id osy 50
8.3.6 Odbrzdění motoru 51
8.3.7 Připojení osciloskopu 52
8.3.8 Nastavení enkodéru pro daný motor 54
8.4 Další možnosti zjištění parametrů odměřování 55

9 PROPOJENÍ POHONŮ ROBOTU S ŘÍDÍCÍ SKŘÍNÍ 57

9.1 Nahrazení resolverové karty 57
9.1.1 Vybrané řešení 58
9.1.2 Provedené řešení 59
9.2 Realizace propojení mezi odměřováním pohonů robotu a jeho řízením 60
9.2.1 Tvorba kabelů 60
9.3 Princip odbrzdění brzdy servomotoru 61
9.3.1 Připojení motorové brzdy 61
9.3.2 Výběr řešení 63

10 POLOHOVÁNÍ OS POHONU 65
10.1 Referencování pohonu 65
10.1.1 Referencování v KeStudiu 65
10.2 Převodové poměry robotu 66

11 ZÁVĚR 69

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 71

13 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK 73
13.1 Seznam tabulek 73
13.2 Seznam obrázků 73

14 SEZNAM PŘÍLOH 75

1 ÚVOD

Průmyslová automatizace a robotika se objevuje ve všech průmyslových oborech. Již dnes je průmyslová automatizace a robotika velmi rozšířená, ale i tak se toto odvětví stále více rozšiřuje. A to díky vývoji v této oblasti, který není dán jen mechanickými vlastnostmi, ale především vývojem řídicích systémů, tedy softwarem a hardwarem. Tento vývoj u robotů zlepšuje vlastnosti jako opakovatelnost, přesnost, rychlost nebo také tuhost či nosnost. To se projevuje především v oblastech a aplikacích, ve kterých by dříve robotizace nebyla možná. Negativním důsledkem rychlého vývoje řídicích systémů je jejich rychlé stárnutí a zastarávání. Výměna těchto zastaralých řídicích systémů ale není běžnou praxí výrobců. Po skončení prodeje staré modelové řady řídicího systému se již výrobci jeho podporou nezabývají.

V současné době žádná firma standardně nenabízí výměnu řídicího systému u jakéhokoliv průmyslového robotu za univerzální řídicí systém. Stávající praxi by chtěla změnit společnost Kesat, distributorská firma společnosti KEBA, která by ráda nabízela svůj univerzální řídicí systém zákazníkům se staršími modely průmyslových robotů, jejichž řídicí systém je zastaralý. Možností výměny řídicího systému se zabývala již předchozí diplomová práce, na kterou tato navazuje. Konkrétně se bude zabývat zprovozněním robotu KUKA KR 15/2 s již částečně implementovaným univerzálním řídicím systémem KeMotion.

Původně měl robot KUKA KR 15/2 vlastněný ústavem výrobních strojů, systémů a robotiky (ÚVSSR) poškozený power modul, a tak při vypnutí docházelo ke ztrátě poloh motorů. To znamená jeho nepoužitelnost v každodenní praxi. Proto došlo v rámci předchozí diplomové práce k výměně řídicího systému a to při zachování původních pohonů robotu, protože pro společnost Kesat je důležité zachování původních servomotorů. Při výměně servomotorů je nutná demontáž celého robotu a nahrazení původních pohonů za jiné, u kterých je možnost různých komplikací. Tato výměna je pak nevýhodná zejména z ekonomického hlediska, samozřejmě jsou-li servomotory zachovány v dobrém stavu.

Retrofitting robotu včetně jeho řídicího systému není zcela běžnou praxí. Až na výjimky tuto možnost výrobci nenabízejí. Výměnu samotného řídicího systému žádný z velkých výrobců robotů neposkytuje, a proto se místo robotů se zastaralým řídicím systémem pořizují roboty nové. Určitou náhradu se snaží poskytnout výrobci řídicích systémů.

Při zahájení této diplomové práce již byl v řídicí skříni KR C1 robotu KUKA KR 15/2 implementován řídicí systém KeMotion, který ale nebyl zcela zprovozněn. Bylo zjištěno, že systém je schopný komunikovat se servomotorem dodaným pro testovaní tohoto systému. Zkušebně byl také připojen jeden původní servomotor, ale u něj vyvstal problém s určením polohy servomotoru kvůli neznalosti parametrů resolveru. Jelikož údaje resorveru servomotoru nebyly zjištěny z žádných dokumentů ani od výrobce, musely být potřebné údaje k určení polohy odečteny přímo z naměřené amplitudové charakteristiky resorveru pomocí osciloskopu. Po naměření a upravení řídicího programu s těmito parametry bylo odzkoušeno polohování v řídicím systému při ručním otáčením hřídele servomotoru. K řízení robotu je třeba vytvořit nové propojení mezi novým řídicím systémem (řídicí skříní) a robotem KUKA KR 15/2, především propojení zpětnovazební smyčky s frekvenčním měničem.

Cílem této diplomové práce je identifikace typu odměřování, navržení a realizování propojení mezi robotem a řídicím systémem, zprovoznění polohování pohonů robotu a

otestování jeho dráhového řízení. Naopak se tato práce nezabývá návrhem řídicího systému, který byl navržen firmou KEBA, ekonomickým zhodnocením, ani bezpečností.

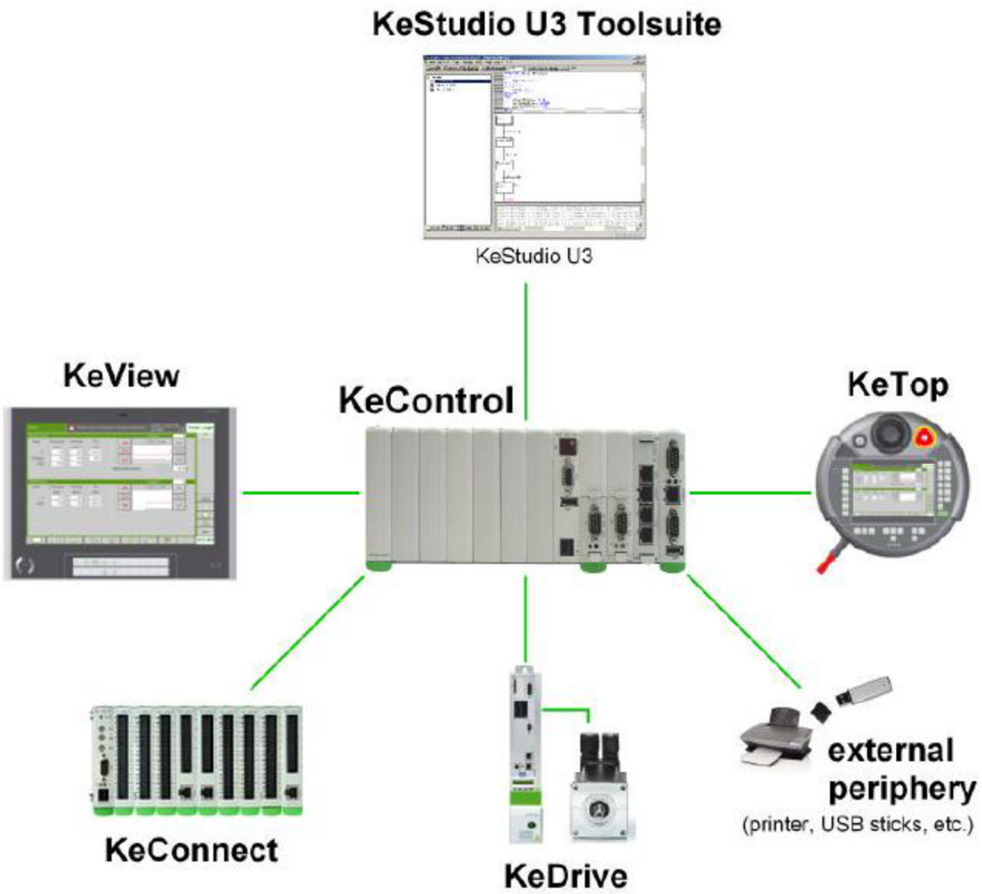
Tato práce je rozdělena do deseti hlavních kapitol. Druhá kapitola nastiňuje současný stav poznání implementace řídicích systémů k robotu. Třetí a čtvrtá kapitola podrobně rozebírají univerzální systém řízení KeMotion a vlastnosti jeho softwaru a hardwaru. Pátá kapitola se zabývá konkrétním robotem KUKA KR 15/2, do kterého je implementován řídicí systém KeMotion. K praktické části práce patří následujících pět kapitol, které se zaměřují na vytváření komunikační sítě systému KeMotion, samotného řídicího programu pro PLC a jeho úpravou pro použití k danému robotu, postup zjištění parametrů resolveru, propojení samotného robotu s jeho řídicí skříní a postup nastavení polohování osy robotu.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

V současné době není řízení průmyslových robotů za pomoci neoriginálního řídicího systému zcela běžné. Aplikovat svoje řízení do všech typů robotů se snaží nejedna firma zabývající se průmyslovým řízením. Nejde tak o jednostrannou snahu firmy KEBA nabídnout své řízení k různým robotům. Také firmy jako např. Beckhoff a B&R nabízejí svoje řízení pro průmyslové roboty. Všechny tyto firmy se snaží poskytnout co možná největší univerzálnost svého řízení robotů. Společnost KEBA a Kesat i přes univerzálnost svého systému aplikují systém především na moderní servopohony. Tento systém je výhodný k řízení motorů KEBA, Bosch a například robotů Stäubli.

3 SYSTÉM KEMOTION

Společnost KEBA nabízí systém KeMotion, který na základě otevřené řídicí platformy slouží ke komplexnímu řešení robotiky na klíč a nabízí se v několika výkonnostních úrovních pro úspěšné splnění nároků dané aplikace. KeMotion vychází ze systému Kemro, což je modulární stavebnicový systém určený nejen pro řízení robotiky, ale pro veškerou automatizaci. Systém KeMotion je složen z několika komponent, které jsou zobrazeny na obr. 1. Mezi tyto prvky patří řídicí jednotka robotu, bezpečnostní prvky, frekvenční měniče, rozhraní pro zobrazení a ovládání a softwarový balík pro diagnostiku, testování, konfiguraci a programování. Frekvenční měniče se v tomto systému připojuji k PLC přes sběrnici SECOS III. Ostatní zařízení se připojují přes sběrnice ethernet nebo CAN. [13]



Obr. 1) Schéma zapojení prvků systému KeMotion [1]

KeControl: PLC

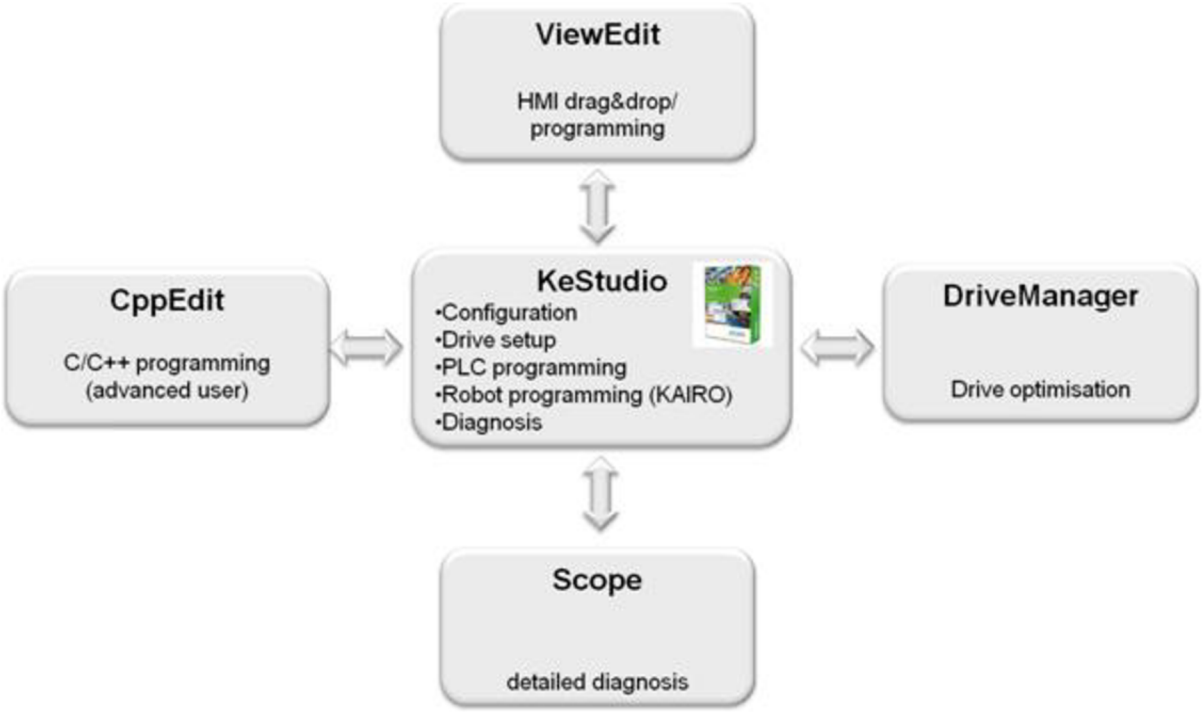
KeConnect: Modulární I/O systém

KeView: stacionární řídicí panel a KeTop

KeDrive: frekvenční měniče a motory

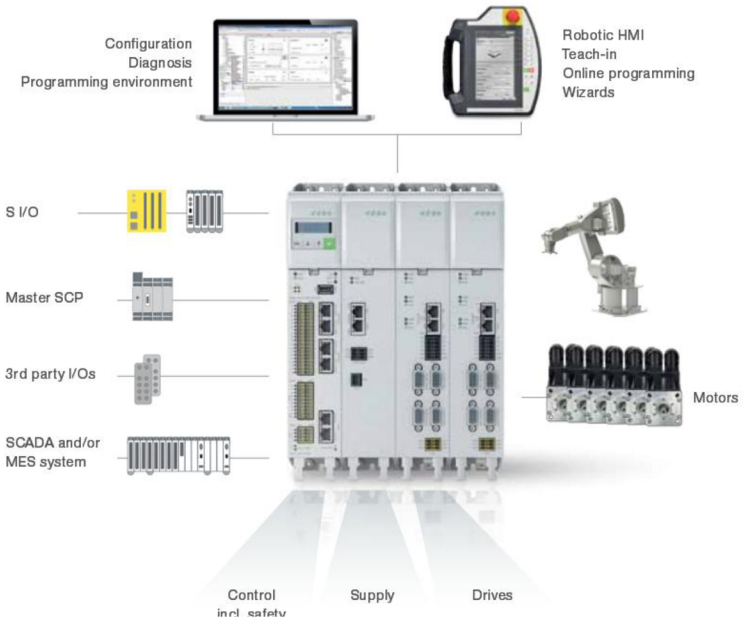
KeStudio: konfigurace, programování [1]

Centrálním prvkem systému je PLC (Programmable Logic Controller) jednotka nebo také programovatelný automat KeControl. K této jednotce jsou připojeny všechny ostatní zařízení systému buď přímo, nebo nepřímo přes jiný prvek systému. Např. motory jsou připojeny do frekvenčních měničů a ty jsou teprve spojeny s PLC. Samostatným prvkem systému je softwarový balík, který běží na řídicím počítači. Tento balík složený z různých programů slouží ke kompletnímu softwarovému ovládání systému KeMotion, jak je vidět na diagramu na obr. 2. Každý z programů softwarového balíku umožňuje své specifické využití a použití, od základního programování, nastavení a diagnostiku, až po samotné řízení a přizpůsobení grafického rozhraní. [2]



Obr. 2) Diagram softwarového balíku systému KeMotion [6]

KeControl a KeConnect, tedy PLC jednotka a I/O (Input/Output) modul, se přes systémovou sběrnici K-Bus vnitřně propojí do řídicího bloku (viz obr. 3). Díky tomu je možné připojit velké množství externích zařízení. V závislosti na počtu a typu externích zařízení se volí různé druhy I/O modulů a jejich kombinace tak, aby co nejlépe vyhovovaly dané aplikaci. Řídicí blok a součásti systému náchylné k poškození se často vkládají do řídicí skříně, která zajišťuje mechanické krytí. [2]



Obr. 3) Schéma systému KeMotion [7]

KeMotion obsahuje funkce řízení robotu srovnatelné s předními výrobci robotů. Díky tomu jsou roboty řízené tímto systémem velmi přesné a rychlé. Pohyb je propočítáván pro každý segment robotu s ohledem na dráhu a dynamiku konečného bodu robotu. To zajišťuje plynulý pohyb robotu bez nutnosti manuální optimalizace. [13]

Řídicí systém KeMotion je navržen jako univerzální pro všechny typy průmyslových robotů různých výrobců, které jsou zobrazeny na obr. 4. To se projevuje už při softwarovém programování a nastavování, kdy jsou předpřipraveny různé šablony pro jednotlivé typy robotů. Podle výkonnosti zvoleného typu systému KeMotion může být ovládáno více os než osy samotného robotu. V dnešní době je již takový výkon standardem. [14]

Obr. 4) Typy robotů možné ovládat systémem KeMotion (kartézské, Scara, delta, 6-osé a deficitní roboty) [7]

4 SOFTWARE A HARDWARE SYSTÉMU KEMOTION

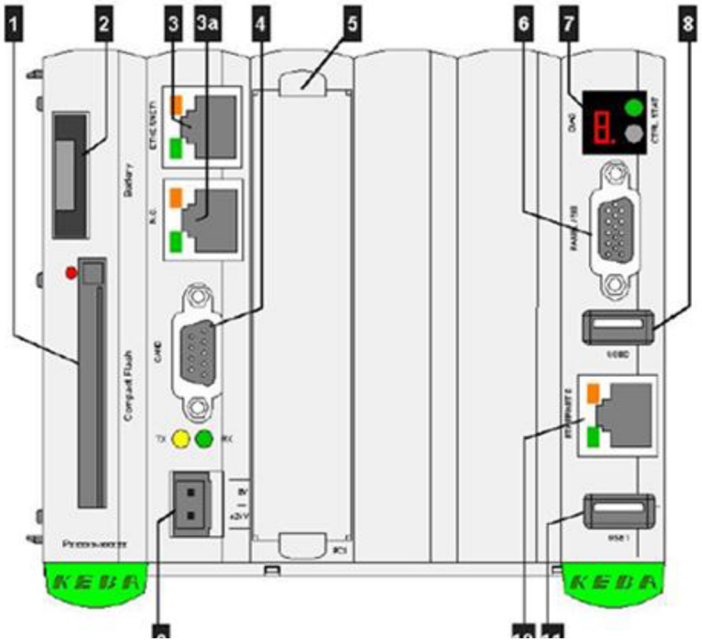
4.1 PLC (KeControl)

Programovací logický automat (Programmable Logic Controller) je průmyslový počítač charakteristický vykonáváním programu v nepřetržité smyčce (cyklu). PLC jednotka se využívá pro provádění automatizačních úloh v reálném čase s co možná nejmenší odezvou. Zařízení zpracuje a vyhodnotí vstupní signály z technologického procesu na základě naprogramovaných funkcí a vytvoří na výstupech řídicí signály ovládající zařízení. PLC můžeme rozdělit na kompaktní a modulární. Kompaktní jsou jednotky, které napevno v jednom bloku spojují CPU (Central Procesor Unit), analogové a digitální vstupy a výstupy, neboli input/output (I/O), základní podporu komunikace a u některých i zdroj napájení. Rozšiřování takového systému je proto hodně omezeno. Modulární jsou jednotky, které se skládají zvlášť z jednotlivých modulů (CPU, I/O atd.). Tyto jednotky tak mají velkou variabilitu v rozšiřování systému. Každé PLC je vybaveno funkcemi pro čítání impulsů (čítače) a časovými funkcemi (časovače), které slouží k řízení logické úrovně. Dále je PLC vybaveno operační pamětí, která slouží k uchování programu, výstupních a vstupních dat, proměnných apod., a stejně jako CPU může být ukazatelem výkonnosti PLC jednotky. Hlavní výhodou PLC jednotky je její jednoduchost a díky tomu vysoká spolehlivost, především pak spolehlivost operačního systému. [15,16]

Při začátku výměny řídicího systému byla vybrána řada KeMotion r4200. Tato řada má následující zařízení a parametry:

KeControl: PLC CP242/B zobrazena na obr. 5
Ketop: T50, T55 nebo T20 (v tomto případě T55)
KeConnect: možnost připojení vstupních a výstupních modulů
CAN fieldbus a Sercos III. [1]

Parametry CP242/B: 1,1 GHz Intel Atom processor, 512 MB RAM
Rozhraní: 1x CAN, 2x USB, 1x Ethernet, 2x sercos III, 1x DVI [1]



Obr. 5) KeControl CP242/B [1]

Popis jednotlivých rozhraní PLC jednotky CP242/B zobrazené na obr. 5.

1. Slot pro paměťovou kartu CF
2. Baterie
3. Sercos III
4. CAN rozhraní
5. Slot pro rozšiřující modul
6. Grafické rozhraní
7. Stavový displej
8. USB port 0
9. Připojení napájení
10. Rozhraní ethernet
11. USB port 1 [3]

Řada KeMotion r4200 včetně PLC CP242/B zobrazeného na obr. 5. byla v době výběru řídicího systému z nabízených řad KeMotion na střední výkonnostní úrovni. V dnešní době již společnost KEBA takové sady systému nenabízí, jejich modernizované systémy se skládají přímo na míru požadavků z různých výkonnostních variant jednotlivých zařízení.

4.2 I/O modul (KeConnect)

K PLC se dále připojují rozšiřující moduly, jedním z nich jsou I/O (input/output) moduly, které slouží jako rozhraní pro připojení různých periferií. Jednotlivé I/O moduly jsou zobrazeny na obr. 6. Podle typu, počtu periferií a jejich vstupů/výstupů jsou zvoleny jednotlivé I/O moduly s daným rozhraním. Vybrané I/O moduly se společně s řídicí jednotkou skládají do bloku, ve kterém jsou propojeny vnitřní sběrnicí K-Bus. Takovýto blok je přizpůsoben k připevnění na montážní lištu. [4]

Obr. 6) a) komunikační I/O modul, b) modul měření polohy, c) analogový I/O modul [5]

4.3 Frekvenční měniče a motory (KeDrive)

Frekvenční měnič je zařízení pro plynulou regulaci otáček střídavého trojfázového motoru bez použití převodu. Princip regulace otáček spočívá ve změně frekvence napájení. Trojfázový motor je napájen z frekvenčního měniče elektrickým napětím v podobě řady pulzů s proměnou šířkou. Frekvenční měniče používané v této práci využívají pulzní šířkové modulace (PWM). Sinusová pulzní šířková modulace je založena na principu cyklického připojování a odpojování napětí k zátěži. Toto napětí se díky řídicímu meziobvodu usměrňuje. Metoda této regulace je sice nejrozšířenější, ale také velmi náročná na zajištění elektromagnetické kompatibility (EMC). K zajištění této kompatibility a co nejčistějších signálů je potřeba použití speciálních stíněných kabelů a výstupních filtrů.

Frekvenční měnič pracuje v uzavřeném okruhu se servomotorem díky zpětnovazební smyčce od enkodéru. [12]

Robot KUKA KR 15/2 je poháněn elektrickými servomotory. Tyto střídavé servomotory jsou bezkartáčové motory s třífázovým vinutím statoru a permanentními magnety na rotoru. Stator je vybaven drážkami pro uložení statorového vinutí.

Permanentní magnety na rotoru pro buzení můžou být umístěny na povrchu tělesa rotoru, nebo můžou být zapuštěné těsně pod povrchem tělesa rotoru. Další variantou jsou pak magnety uloženy uvnitř rotoru.

Tyto motory jsou napájeny z frekvenčního měniče třífázovým střídavým sinusovým proudem s proměnnou frekvencí a napětím. Rotor synchronního motoru se otáčí synchronně s otáčením točivého magnetického pole statoru. Servomotory jsou vybaveny odměřováním pro zpětnou vazbu, motorovou brzdou a polovodičovým snímačem teploty statorového vinutí. Snímač teploty, v tomto případě termistor, slouží k odpojení motoru při dlouhém přetížení. Motorová brzda slouží k zajištění motoru v určité poloze jak bez napájení, tak i v případě jakéhokoliv výpadku proudu nebo poruše. Synchronní servomotory používají vektorové řízení tak, že vektor statorového proudu je kolmý na vektor magnetického toku.

Tyto motory lze momentově dobře přetěžovat. [12]

Nové servomotory společnosti KEBA se již také vydávají směrem jednoho konektoru, který sdružuje funkci silových vodičů a odměřování polohy do jednoho kabelu.

4.3.1 Zvolené frekvenční měniče pro motory robotu KUKA KR15/2

Frekvenční měniče os A1 - A3: HCS01.1E-W0028-A-03-E-S3-EC-NN-NN-AA-FW zobrazen na obr. 7b.

osa (A1,A2) motory: Siemens 1FK6081-6AF71-1ZZ9-Z S07
osa (A3) motor: AEG KK53Y-YYYY-017

Frekvenční měniče os A4 - A6: HCS01.1E-W0008-A-03-E-S3-EC-NN-NN-AA-FW zobrazen na obr. 7a.

osa (A4,A5,A6) motory: Siemens 1FK6032-6AK71-1ZZ9-Z S36

Obr. 7) a) Frekvenční měnič KeDrive HCS01.1E-W0008, b) HCS01.1E-W0028 [8]

4.4 Ruční ovládací panel (KeTop)

Ruční ovládací panel (teach pendant) je přenosné zařízení sloužící k ovládaní, programování a grafickému zobrazení. Ruční ovládací panely jsou odolná zařízení robustnější konstrukce s vhodnou ergonomií pro držení a ovládání. I tady nabízí firma KEBA několik druhů ovladačů, které se volí podle použití pro danou aplikaci.

K této práci byl zvolen ovladač KeTop T55 (obr. 8), který je středně výkonnou a vybavenou verzí ručních ovladačů KeTop. T55 je osazen výkonným hardwarem a díky výkonnému procesoru je vhodný k individualizaci pro širokou škálu aplikací pro provozní i vizualizační úlohy díky barevné dotykové obrazovce. KeTop T55 může vyžívat platformu

Windows i Linux., jako rozhraní slouží USB 2.0 port a Ethernet pro komunikaci s řídicím systémem.

Bezpečnost je na KeTop T55 řešená pomocí nouzového tlačítka pro zastavení, což splňuje bezpečnostní normu EN ISO 13850 (Bezpečnost strojních zařízení - Nouzové zastavení - Zásady pro konstrukci). Při jeho stisknutí dojde k okamžitému zastavení celého systému.

Pro ovládání pomocí KeTop je kromě tlačítek určen displej, který zobrazuje program i velké množství dalších parametrů. Pomocí tohoto displeje můžou být zadávány ovládací příkazy. Displej je odolnější, ale i tak se pro jeho ovládání doporučuje používat integrované dotykové pero. Podsvícení displeje je provedeno pomocí LED, to zajišťuje vysoký kontrast zobrazení a menší energetickou náročnost.

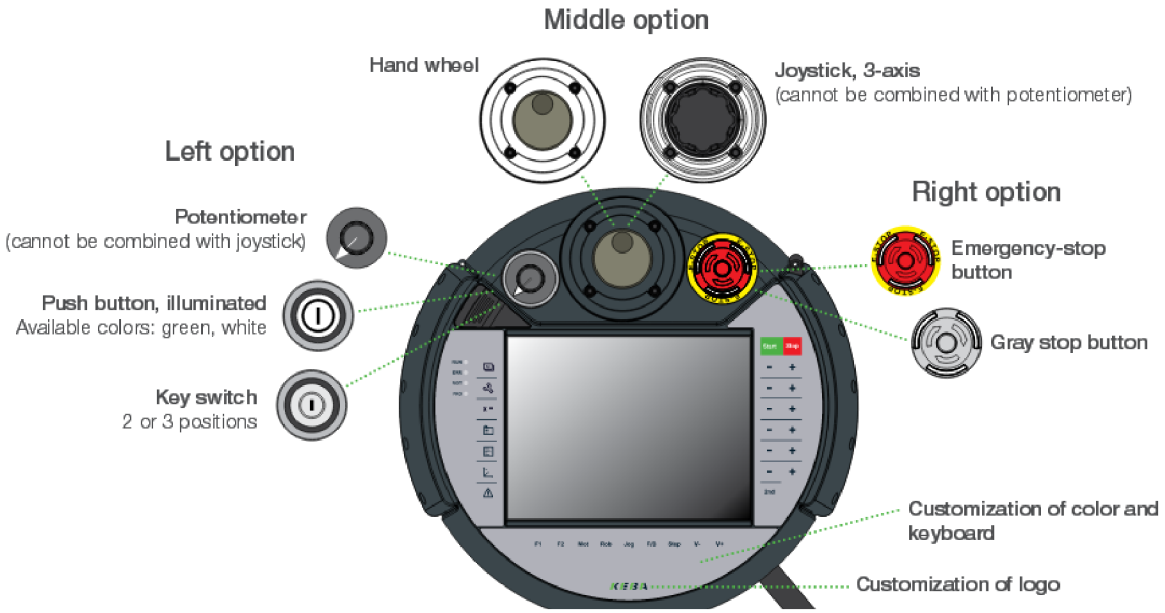
KeTop T55 je opatřen i taktilními membránovými tlačítky. V této verzi T55 přímo pro účely robotizace. Dále jsou na panelu umístěny informační LED diody informující uživatele o stavu systému.

KeTop T55 je vybaven dvěma vícepolohovými tlačítky pro spuštění pohonů,ty jsou umístěné na stranách spodní strany panelu. Tato tlačítka mají tři polohy:

1. Nulová poloha - tlačítko není zmáčknuté, spouštěcí okruh není sepnut, pohyb se tedy nevykonává.
2. První poloha - tlačítko je zmáčknuté, spouštěcí okruh je sepnut a může se vykonávat pohyb.
3. Třetí poloha - tlačítko je zmáčknuté silně, spouštěcí okruh je rozepnut a pohyb se nevykonává. Tato poloha slouží jako další bezpečnostní prvek panelu a to v případě, kdy obsluha v případě kolize zareaguje leknutím a tedy domáčknutím tlačítka do této polohy. [1,2,7]

KeTop T55 má kruhový tvar s dobrou ergonomií umožňující mnoho způsobů uchopení a lze ho přizpůsobit pro praváky i leváky.

- odolnost vůči pádům z výšky až 1,5m
- odolnost vůči vibracím
- stupeň krytí IP 65 [1]



Obr. 8) Ruční ovládací panel KeTop T55 [17]

Tab 1) Parametry ručního panelu KeTop T55: [17]

Displej	6,5" (4:3) TFT
Rozlišení displej	640 x 480
Software	Windows CE® 6.0 / Linux
Procesor	ARM Cortex A8
Operační paměť	256MB SDRAM
Paměť	> 256MB flash
Rozhraní	Ethernet, USB 2.0
Rozměry	250 x 250 x 125 mm
Váha	1,330 kg
Napájení	24 V DC
Krytí	IP 65
Osvědčení	UL, CE, SIBE

4.5 Stacionární ovládací panel (KeView)

KeView je stacionární ovládací panel (obr. 9) a má podobné vlastnosti a konstrukci jako ruční ovládací panel KeTop. Stacionární panel bývá umístěn na pevně dané pozici, může tak být těžší a větší než ruční ovládací panel a díky tomu i přehlednější. U ovládání robotů je výhodou mít mobilní ovládání, proto se KeView k ovládání jednotlivých robotů příliš nevyužívá. KeView není ani součástí balíku dodaného společností KEBA k provedení této práce. [1]

Obr. 9) Stacionární ovládací panel KeView [17]

4.6 Softwarový balík KeMotion

Automatizační balík KEMRO obsahuje balík softwaru i pro KeMotion, tedy přímo pro robotiku. Tento balík osahuje plnou softwarovou podporu od programování, diagnostiku až po konfiguraci a vizualizaci. Celý softwarový balík je velmi obsáhlý a tato práce je zaměřena pouze na vybraný software využívaný při praktické části této práce, tedy hlavní programy tohoto balíku.

Jednou z nejdůležitějších funkcí softwaru je nastavení komunikace mezi PC (řídicího počítače) a PLC jednotkou (KeControl). Díky tomuto softwaru lze přes PC naprogramovat všechny příkazy systému, od základních řídicích funkcí samotného PLC až po řízení aplikace. Po nahrání programu do PLC lze PC odpojit a program zůstává uložen.

Pro samotné aplikace se pak již může využít ovládací panel bez nutnosti připojovat PC. [2]

4.6.1 KeStudio

KeStudio je základní program softwarového balíku KEMRO. Slouží k programování a nastavení PLC jednotky a k jejímu řízení. Je založen na řídicí platformě projektu CoDeSys V2.3, tedy na run-time systému. CoDeSys je komplexní vývojové prostředí pro PLC, které je u PLC systémů rozšířeno. Fyzické spojení mezi PC a PLC se provádí propojením pomocí kabelu typu ethernet. Tato platforma umožňuje PLC komunikovat pomocí síťových proměnných s jiným PLC. [1,31]

Pohybové bloky jsou řízeny na základě standardu PLCopen. PLCopen je organizace zaměřující se na průmyslové řízení. PLCopen rozšiřuje hardwarovou nezávislost na softwarovém kódu. Bloky zajišťují funkce pohybu pro osy v podobě knihoven.

V programu KeStudio lze vytvářet program pěti různými režimy/jazyky podle normy EN 61131-3 a jedním dalším režimem/jazykem, který do této normy nespadá (Continuous Function Chart - CFC). Dle normy EN 61131-3 může být program vytvořen dvěma

grafickými režimy a třemi textovými jazyky. Kvůli svým specifickým vlastnostem má každý z těchto režimů/jazyků své výhody a nevýhody v konkrétních případech. Proto se také často využívá jejich propojení pomocí globálních proměnných. Přehled těchto režimů/jazyků a jejich popis obsahuje následující tab 2. [1,2,31,32]

Tab 2) Programovací režimy a jazyky pro PLC jednotku KeControl [31,32]

Typ	Programovací režim/jazyk	Popis
Textový	Instruction List - IL Posloupnost instrukcí	Program se zde skládá ze základních instrukcí a operandů v posloupnosti jednotlivých operací. Umožňuje co možná nejvyšší optimalizaci programů.
	Structured text - ST Strukturovaný text	Program se zde skládá ze syntaxí, je podobný programovacím jazykům jako je C nebo PASCAL. Vhodný především pro rychlé naprogramování i složitějších aritmetických vzorců.
Grafický	Ladder Diagram - LD Reléové schéma	Program se zde skládá z logických vazeb skládajících se do schématu podobnému schématu zapojení. Vhodný pro velmi rychlé programování pro logické funkce a časovače.
	Sequential Function Chart - SFC Vývojový schéma	Program se zde skládá z bloků ve schématu s časovou návazností a rozhodovacími procesy pro jednotlivé větvení. Toto schéma je velmi podobné vývojovým diagramům programu. Použití je příhodné při strukturování programu.
	Function Block Diagram - FBD Schéma funkčních bloků	Program se zde skládá z funkčních bloků, které realizují různé druhy funkcí. Bloky se skládají do schématu. Výhodou je využití pro velký počet logických signálů pomocí předdefinovaných funkcí.
	Continuous Function Chart - CFC Volně propojované bloky	I zde se program skládá z funkčních bloků, které realizují různé druhy funkcí. Bloky se také skládají do schématu, ale na rozdíl od FBD jsou zde zpětné vazby. Výhodou je dobré sledování signálu při průchodu programem. Continuous Function Chart nepatří do normy IEC 61131-3, nicméně patří do souboru CoDeSys

4.6.2 KeStudio DriveManager

KeStudio DriveMangaer je diagnostický program, který kromě diagnostiky slouží také ke kompletnímu nastavení parametrů pohonu. Nastavit lze parametry motoru, výkonové části i zpětné vazby (odměřování a hlídaní teploty při přetížení), parametry motorové brzdy, parametry jednotlivých převodů pohonů, parametry frekvenčních měničů, atd. Tento program je důležitý při zprovoznění kompletního funkčního systému.

Stejně jako KeStudio slouží k definování parametrů a následnému uložení do PLC jednotky. Komunikace mezi programem na PC a měniči probíhá prostřednictvím PLC jednotky, která v tomto případě funguje jako router. Pro uložení změn je nutno mít PC a PLC fyzicky propojeno. Při nalezení chyby, tedy zobrazení chybové hlášky a kódu chyby, lze tuhle chybu vyhledat v samotné databázi programu a zjistit tak její popis, příčiny vzniku a návrhy opatření k opravě. [1,2]

4.6.3 KeMotion TeachView T55R

KeMotion TeachView T55R je software nahrazující ruční ovládací panel tak, že celé rozhraní ovládacího panelu zobrazuje digitálně na obrazovce PC (viz obr. 10). Má stejné funkce jako fyzický ovládací panel a také přes něj můžeme robot programovat k jednotlivým pohybům za pomoci příkazů. Masku samotného TeachView jde nahrát do programu ViewEdit a zde ji případně upravit a přizpůsobit. TeachView umožňuje:

1. Ovládání programu a jeho řízení: start, stop, emergency stop, posuvy, rychlosti, atd.
2. Správa programů: vytvoření, úprava nahrávání, mazání programů atd.
3. Stavové informace: zobrazovací kontrolky stavu RUN, ERR, MOT, PRO
4. Nastavení: nastavení sítě a IP adresy ReachView atd.
5. Uživatelské nastavení: výběr úrovně uživatele, priority přístupu atd.
6. Správa oznámení: zobrazení systémových zpráv jako upozornění, chyby a další informace [1]

Obr. 10) Zobrazené prostředí TeachView T55R

4.6.4 KeStudio Scope

KeStudio Scope je vizualizační program, který slouží k vizualizaci pohybu robotu v 3D prostředí, případně k vizualizaci pracovního prostoru a dané aplikace. K vizualizaci je nutné mít všechny vizualizované objekty ve virtuální podobě (modelu). Modely robotů a některých periferií bývají často dostupné přímo na stránkách výrobce, případně i na jiných webových stránkách zabývajících se touto problematikou. Pracovní prostor tvoří většinou nestandardizované prvky, které se na internetu běžně nalézt nedají. V tom případě lze modely vytvořit nebo sehnat přímo od konstruktérů.

Po spuštění a nahrání programu a parametrů jde sledovat virtuální průběh aplikace a odhalit tak chyby programu. Scope také umožňuje vytvářet samotný program tím, že se pohybuje jednotlivými vizuálními prvky.

Vizualizační program Scope umí zobrazit a zaznamenat grafy zrychlení, rychlosti a polohy v závislosti na čase pro všechny osy. Díky znalostem těchto veličin v průběhu programu může být program doladěn na požadované vlastnosti. [2]

4.6.5 KeStudio ViewEdit

KeStudio ViewEdit je grafický editor sloužící pro tvorbu vizualizačních aplikací systému KeMotion a k vytváření uživatelského rozhraní pro obsluhu stroje. Toto vizuální rozhraní je následně možné nahrát a používat na ovládacích panelech, především na stacionárních KeView, ale také na ručních KeTop. Vytváření vizuálního rozhraní se provádí objektově a podle individuálních potřeb aplikace. [2]

4.6.6 KAIROEdit

KAIROEdit je primárně určený pro offline programování robotů, ale lze s ním programovat i jiné automatizační aplikace využívající systém KeMotion. Využívá jazyk KAIRO, který osahuje prvky usnadňující programování. Takto vytvořený program lze přenést do systému přes ovládací panel nebo přes TeachView. [2,9]

5 ROBOT KUKA KR 15/2

Zprovoznění pohonů průmyslového robotu KUKA KR15/2 je jednou z hlavních částí této práce. Tento konkrétní robot, na kterém je prováděn retrofitting řídicího systému, byl po vyřazení z výroby věnován ÚVSSR a v současné době je umístěn v dílně ÚVSSR na FSI VUT v Brně. Po zjištění závady na power modulu už nebyl robot používán. Tato chyba způsobovala, že při vypnutí robotu došlo ke ztrátě poloh všech pohonů a pro jeho opětovné použití po vypnutí bylo nutné znovu osy referencovat. Kvůli této chybě a zastaralému řídicímu systému bylo přikročeno k retrofittingu řídicího systému v rámci diplomové práce. První práce zabývající se tímto retrofittingem byla ukončena přestavěním řídicí skříně do níž byl implementován nový řídicí systém. Pro dokončení řídicí skříně zbývalo zapojit poslední frekvenční měnič, zrealizovat propojení zpětnovazební smyčky a propojit motorové brzdy mezi robotem a řídicí skříní.

Průmyslový robot KUKA KR 15/2 patří mezi univerzální roboty. Tyto roboty jsou nejrozšířenější skupinou robotů v průmyslu především pro svou flexibilnost a univerzálnost činností, které se liší v závislosti použitého koncového efektoru. Pro univerzální roboty je charakteristická sériová kinematika robotu a šest stupňů volnosti (šest na sobě nezávislých os) znázorněných na obr. 11. Tyto osy zaručují absolutní pohyb robotu v prostoru (tři stupně volnosti pro polohu a tři stupně pro natočení). Konkrétně tento robot KUKA KR 15/2 patří mezi roboty s nízkou nosností na konci ramene, kde může nést zátěž včetně koncového efektoru max. 15 kg. Dalších 10 kg pak může být neseno na rameni robotu. Roboty s nízkou nosností bývají konstrukčně menší a lehčí, což umožňuje snadné připevnění robotu na různá místa jako podlahy, zdi a stropy. [20,21]

5.1 Specifikace robotu KUKA KR15/2

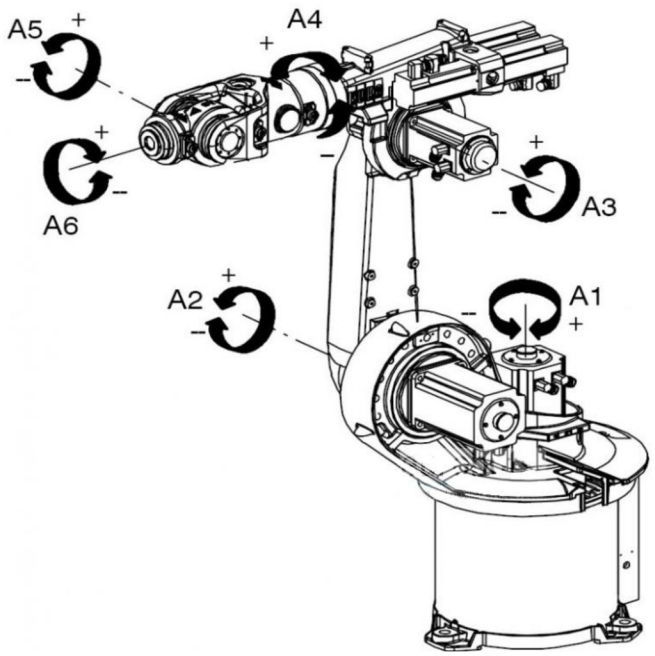
(dle dokumentace KUKA)
Počet os: 6
Maximální zatížení robotu: 15 kg + 10 kg
Maximální dosah: 1570 mm
Opakovatelnost s původním řízením KR C1: ± 0,1 mm
Originální řízení: KR C1 [19]
Pracovní prostor je zobrazen na obr. 12.

5.1.1 Rychlosti a rozsahy pohybu os robotu

Jednotlivé osy jsou zobrazeny na obr. 11.

Tab 3) Rychlosti a rozsahy jednotlivých os [21]

Osa	Rozsah pohybu	Maximální rychlost
A1	+185°	152° /s
A2	+115° -55°	152° /s
A3	+70° -210°	152° /s
A4	+350°	284° /s
A5	+135°	293° /s
A6	+350°	604° /s



Obr. 11) Zobrazení jednotlivých os robotu [20]

5.2 Motory robotu KUKA KR15/2

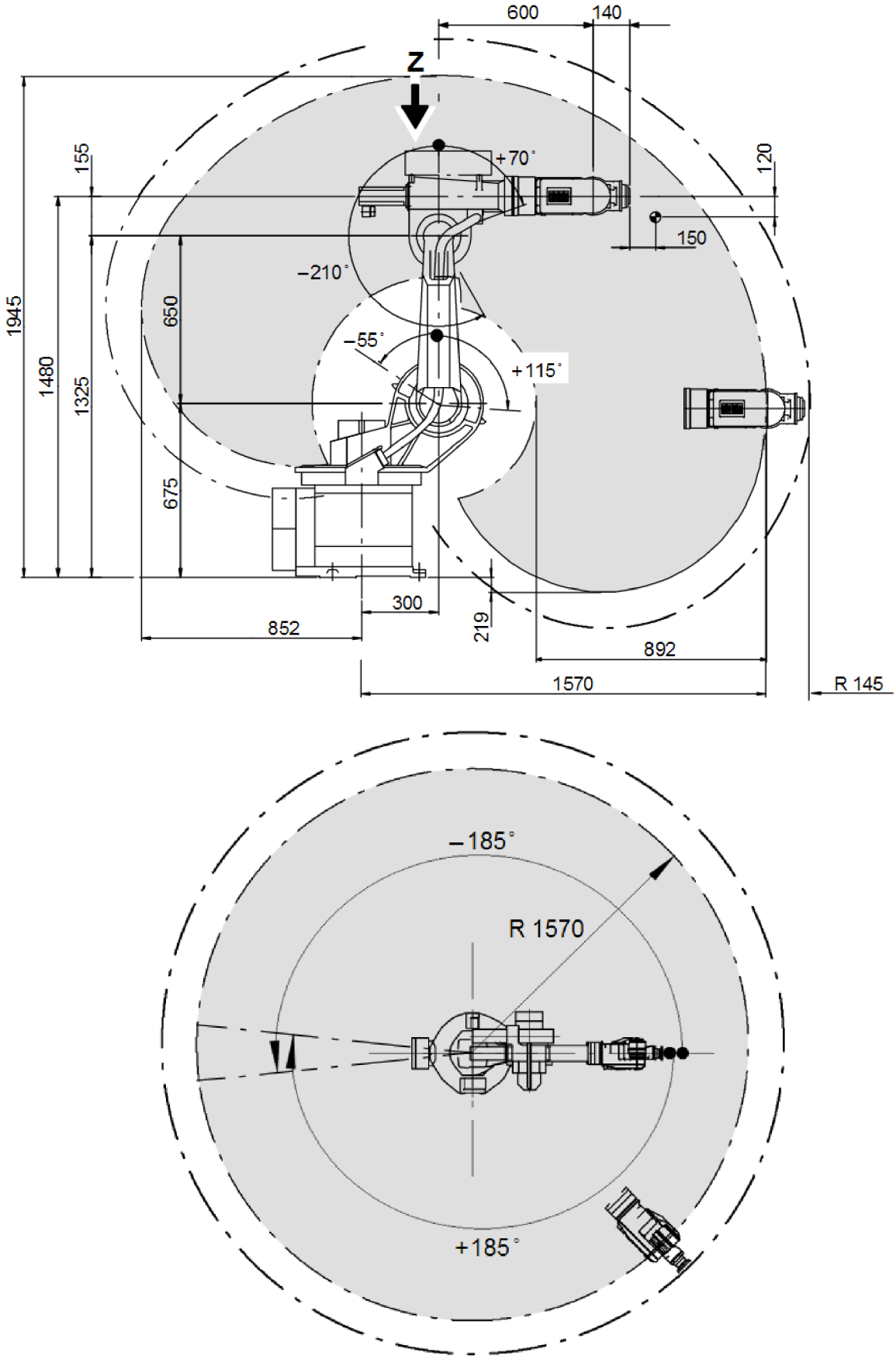
Motory orientačního ústrojí (A4, A5, A6):
Siemens 1FK6032-6AK71-1ZZ9-Z S36

Motor pro třetí osu (A3):
AEG KK53Y-YYYY-017

Motory pro první a druhou osu (A1 a A2):
Siemens 1FK6081-6AF71-1ZZ9-Z S07

Tab 4) Parametry jednotlivých motorů robotu [30]

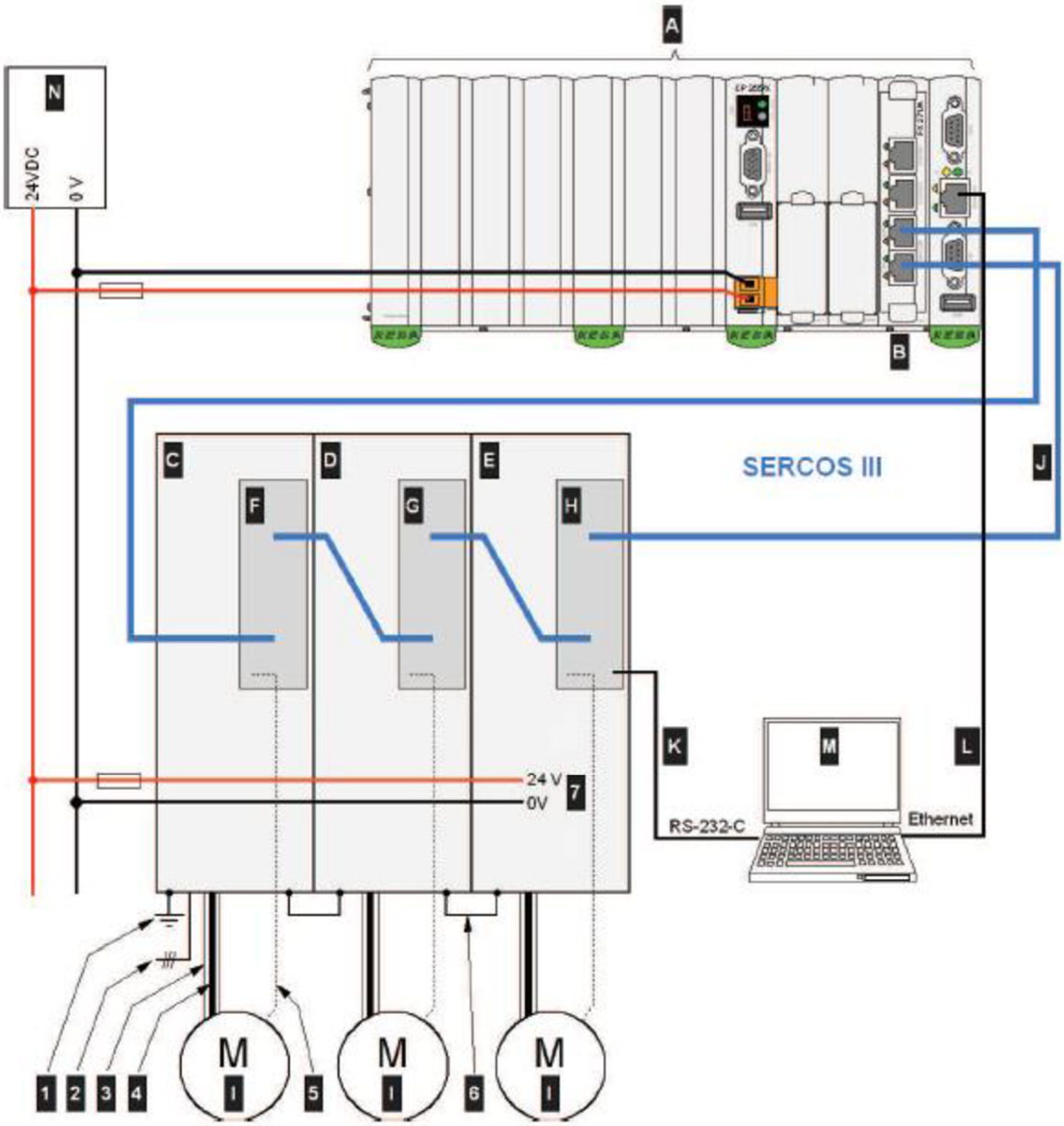
Výrobce	Siemens		AEG
Označení motoru	1FK6032	1FK6081	KK53Y
Jmenovité otáčky [1/min]	6000	3000	3000
Maximální otáčky [1/min]	9000	3950	
Jmenovitý točivý moment [Nm]	0,8		9
Maximální točivý moment [Nm]	4,5		11
Jmenovitý proud [A]	1,5	6,6	5,7
Příkon motoru [kW]	0,5	2,83	2,83
Stupeň krytí	IP 65	IP 65	IP 64



Obr. 12) Diagram pracovního prostoru robotu KUKA KR 15/2 [21]

6 TOPOLOGIE SÍTĚ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

Po umístění všech nových prvků řídicího systému (PLC jednotky, I/O modulu, frekvenčních měničů) do řídicí skříně a jejich následnému připojení k napájení je potřeba navrhnout a vytvořit jejich komunikační síť. Především síť mezi prvky a moduly, které se nevyskytují v bloku a nejsou tak propojené sběrnicí K-Bus. A také síť mezi ovládacími prvky, řídicí jednotkou (PLC) a frekvenčními měniči. Schematicky je takováto síť zobrazena na obr. 13, kde lze vidět jednotlivá propojení.



Obr. 13) Vzorové schéma zapojení řídicího systému [2]

Popis jednotlivých členů systému:

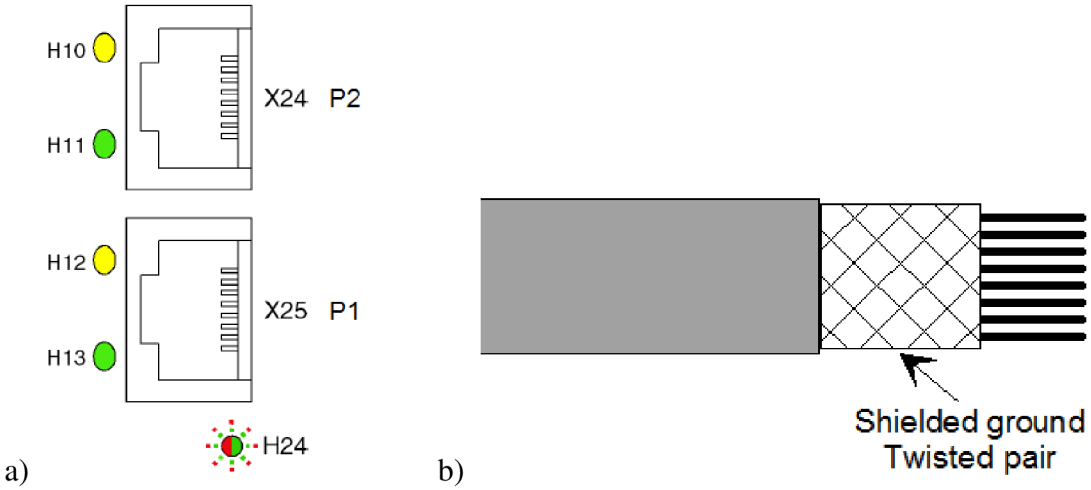
A – PLC jednotka
B – modul SERCOS III
C, D, E – výkonové části frekvenčních měničů
F, G, H – řídicí části frekvenčních měničů
I – servomotory
J – ethernet pro vedení SERCOS III
K – RS-232-C
L – připojení ethernet
M – řídící PC
N – zdroj stejnosměrného napájení [2]

1 – uzemnění
2 – třífázové střídavé napětí
3 – stínění kabelu 4
4 – napájecí kabel servomotoru
5 – kabel zpětné vazby
6 – uzemnění zařízení
7 – napájení měničů

Ovládací prvky (PC, KeTop) jsou připojeny k PLC přes připojení ethernet. PC pak lze připojit přímo k měniči přes RS-232-C. Komunikace mezi PLC a frekvenčními měniči probíhá pomocí rozhraní SERCOS III.

6.1 SERCOS III

SERCOS III je standardizované digitální rozhraní pro komunikaci využívající kruhovou i řadovou topologii. V případě systému KeMotion se pro rychlejší komunikaci využívá kruhová topologie (propojení vede z PLC přes všechny frekvenční měniče a vrací se zpět do PLC). Primární kanál vede od Master (PLC) konektoru P1 do Slave (meniče) konektoru P2, sekundární kanál opačně. V systému KeMotion je konektor P1 umístěn dole a P2 nahoře. SERCOS III taktéž využívá stejné hardwarové rozhraní jako ethernet. Pro komunikační propojení SERCOS III je nutné použít alespoň CAT5e s ITP (Industrial Twisted Pair) stíněním zobrazeném na obr. 14b. [18]



Obr. 14) a) Ethernetové SECOS III [5], b) Stínění ITP [1]

6.2 Adresy v síti

Pracovníci firmy Kesat doporučili následující logiku přiřazení adres jednotlivým prvkům, kterou sami používají v praxi (tab 5). První adresa v síti je vyhrazena pro Gateway (bránu sítě) 192.168.1.1, následuje adresa 192.168.1.2 pro PLC a dále následují ostatní řídicí prvky PC, KeTop. Frekvenční měniče obsahují jako poslední hodnotu adresy dvouciferné číslo 192.168.1.XY, a to tak, že X určuje robot a Y osu. Jde však jen o konvenci této firmy a přiřazení adres prvkům může být jiné. Tahle logika je výhodná zejména při řízení více robotů jedním PLC.

Tab 5) Adresy jednotlivých prvků v síti

Prvek	IP adresa	Gateway	Node-id
PC	192.168.1.2	192.168.1.1	-
PLC	192.168.1.3	192.168.1.1	-
KeTop	192.168.1.4	192.168.1.1	-
Měnič 1	192.168.1.11	192.168.1.1	1
Měnič 2	192.168.1.12	192.168.1.1	2
Měnič 3	192.168.1.13	192.168.1.1	3
Měnič 4	192.168.1.14	192.168.1.1	4
Měnič 5	192.168.1.15	192.168.1.1	5
Měnič 6	192.168.1.16	192.168.1.1	6

7 ŘÍDICÍ PROGRAM PRO PLC JEDNOTKU

Vytvářením programu pro PLC jednotku se zabývala předchozí diplomová práce. Tato diplomová práce se zabývá především jeho úpravou, proto zde bude vytváření programu jen zběžně nastíněno.

7.1 Vytvoření řídicího programu

Naprogramování KeControl (PLC jednotky) se provádí pomocí softwaru KeStudio. V tomto případě KeStudio V2.3 (v současné době je již k dostání novější verze). Pro naprogramování řízení robotu je možné použít předpřipravenou šablonu **Template_KeMotion_CP24xCP25x_02.60.pro**, která obsahuje řadu již funkčních bloků a knihoven. Tato šablona je zde právě pro takovéto případy. Řídicí program za využití šablony se vytváří následovně:

1. Zapnutí programu KeStudio
2. Otevření šablony: File/New from template/ **Template_KeMotion_CP24xCP25x_02.60.pro** (ze složky: disk: / Kemro / KeStudio V2.3 / Projects / KeMotion)
3. Úprava a doplnění šablony

Prvním krokem je připojení se k požadovanému PLC. Toto připojení se provádí následovně:

1. V KeStudiu v kartě **Resources** (tato záložka je umístěna vlevo dole) se otevře položka **PLC configuration**.
2. V hlavním okně se objeví KeMotion Control a jeho položky.
3. Vybereme položku **Communication [SLOT]**
4. Vyskočí okno Find PLC, v tomto okně klikneme na **Search network** a zvolíme požadované PLC. Pokud není žádné PLC nalezeno, je třeba na **Communication [SLOT]** kliknout pravým tlačítkem, zvolit **Replace element Communication** a zkusit to znovu.
5. Požadové PLC se v okně Find PLC aktivuje tlačítkem **Set as active PLC**.
6. Před prvním připojením k PLC je nutné nastavit IP adresu a Gateway u PLC, toto nastavení se provádí v záložce **Config** v okně **Communication parametres**. PLC je v tomto případě nastaveno takto: IP adresa 192.168.1.3 a Gateway 192.168.1.1

Nyní je vytvořen základní program robotu, který můžeme nahrát do PLC. Program však obsahuje jen základní parametry předdefinované šablonou. Pro použití je nutné tento program nastavit a doplnit pro daný typ robotu podle jeho vlastností.

Dále je potřeba nastavit zapojení pohonu, které se provádí následovně (obr. 15):

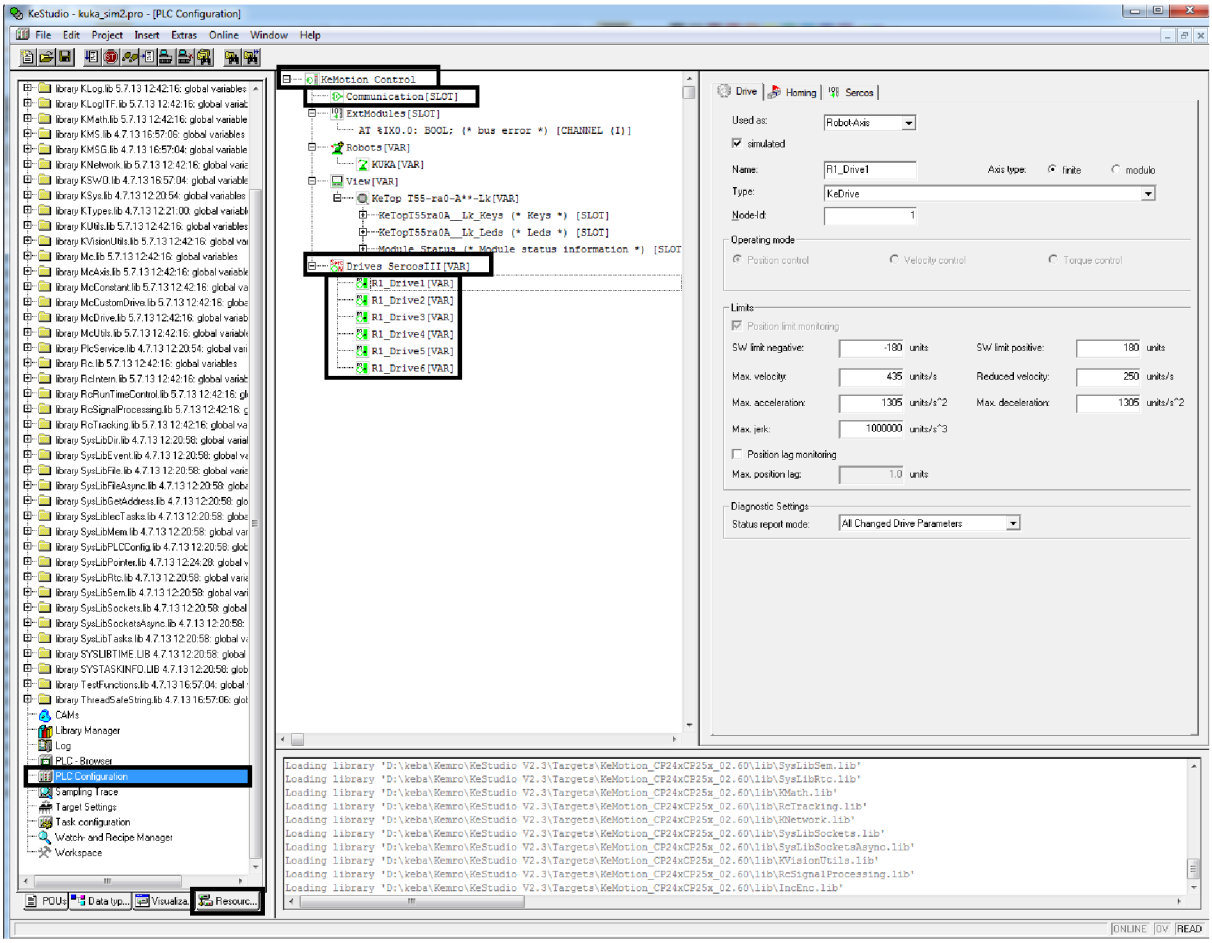
1. V rozpracovaném projektu v kartě **Resources** klikneme pravým tlačítkem na **KeMotion Control** a vybereme **Append Subelement -> Drive Sercos III…**
2. Tím se vytvoří **Drives Sercos III[VAR]**.
3. Nyní klikneme pravým tlačítkem na **Drives Sercos III[VAR]** a vybereme **Append Drive Sercos III.** Tím vytvoříme jednu osu **Drive [VAR]**.
4. Předchozí krok provedeme tolikrát, kolik pohonů chceme ve výsledku řídit (v tomto případě šestkrát).

5. Po otevření **Drive [VAR]** se otevře konfigurační maska osy.

Pro nastavení každé osy jsou zde tři záložky:

1. Drive: slouží k nastavení typu osy a jejích limitních maxim.
2. Homing: slouží k referencování cyklu osy podle typu odměřování.
3. Sercos: slouží k přidání cyklických dat.

V záložce **Drive** je políčko **simulated**, které slouží pro simulování osy v případě, když je osa pouze virtuální a není připojená. Dále je zde tabulka **Limits,** do které je potřeba vyplnit maximální dovolené hodnoty dle tab 3, kapitola 6.1.1.



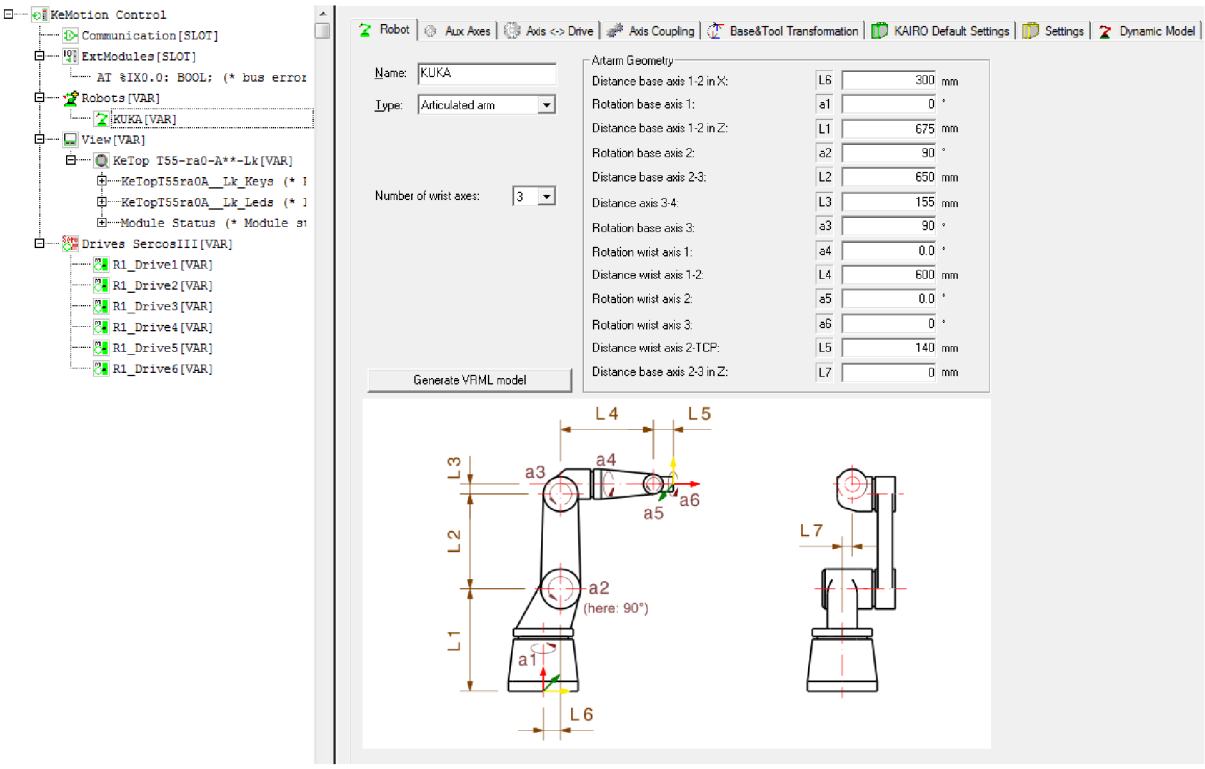
Obr. 15) Zobrazení cesty ke konfiguraci os

7.2 Nastavení velikostí a polohy ramen robotu

1. V projektu dále v kartě **Resources** klikneme pravým tlačítkem na **KeMotion Control** a vybereme **Append Subelement -> Robots…**
2. Tím se vytvoří **Robots[VAR]**

3. Nyní klikneme pravým tlačítkem na **Robots[VAR]** a vybereme **Append Drive Robot.** Tím vytvoříme jednu osu **Robot [VAR]**.
4. Po otevření Robot[VAR] se zobrazí konfigurační maska robotu.

V tomto okně se v záložce **Robot** nejdříve zvolí jméno robotu v položce **Name** a struktura robotu v položce **Type**. V našem případě sériový šestiosý robot, tedy **Articulated arm**. Po vybrání typu robotu se v okně otevře parametrizace ramen zobrazená na obr. 16. Zde je nutné vyplnit správné velikosti ramen podle dokumentace robotu (viz obr. 12).



Obr. 16) Nastavení rozměrových parametrů robotu

7.3 Uložení řídicího programu do PLC jednotky

Aby PLC jednotka mohla program provádět, musí být tento program uložený v její paměti. Tato paměť je tvořena vyjímatelnou paměťovou kartou. Nejprve je tedy nutné nahrát řídicí program, aby se zajistila funkčnost PLC jednotky i po odpojení PC. Nahrávání se provádělo přes program KeStudio.

Před samotným uložením programu je nutné nastavit komunikaci pro samotné připojení programu KeStudia k PLC jednotce. To se provádí v záložce menu **Online -> Communication parametres...**, kde je nutné nastavit IP adresu PLC jednotky. V tomto případě 192.168.1.3

Nahrávání se provádělo následovně přes program KeStudio:

1. V záložce menu **Online** -> **Login**.
2. Po kompilaci a stažení programu do PLC vyskočí dialogové okno, kde zvolíme možnost **Yes** pro dokončení nahrání programu do PLC.
3. Spuštění programu: **Online** -> **Run**.

4. Restartování programu: **Online** -> **Reset**.
5. Zastavení programu: **Online** -> **Stop**.
6. Pro odhlášení a vymazaní programu z operační paměti (ne však paměti PLC): **Online** -> **Logout**.

V praxi se po uložení programu do paměti PLC celý systém pro jistotu restartuje, aby byly dané změny provedeny a rozpoznány celým systémem a předešlo se tak chybám.

8 TYP ODMĚŘOVÁNÍ POHONŮ KUKA KR 15/2

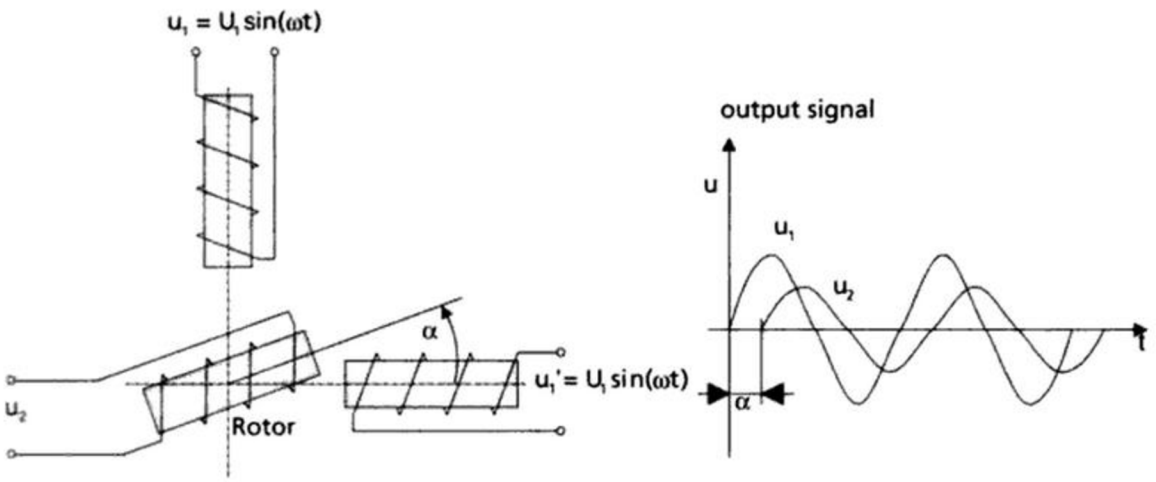
Odměřování robotu KUKA KR15/2 je provedeno nepřímo, to znamená, že je odměřování umístěno na hřídeli motoru. Podle kinematické struktury tohoto robotu jsou všechny osy rotačního typu, a proto je snímání polohy provedeno rotačními enkodéry.

8.1 Rotační enkodéry

Rotační enkodéry jsou elektrická zařízení, která umožňují měřit míru natočení a rychlost otáčení. Rotační enkodéry používané u robotů můžeme rozdělit do dvou základních skupin, na optické a magnetické. Oba tyto typy pak dále rozdělujeme na absolutní a relativní. Případné další rozdělení jde provést podle výstupního signálu, který může být digitální nebo analogový. U pohonů robotu KUKA KR 15/2 je odměřovaní realizováno pomocí resolverů. Resolver je magnetický relativní druh enkodéru, který můžeme najít u většiny průmyslových robotů společnosti KUKA. [23]

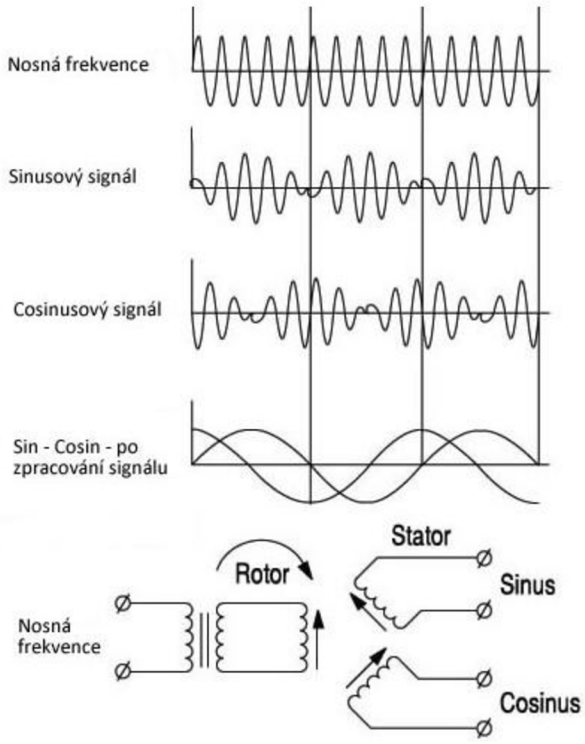
8.1.1 Resolver

Resolverové snímače převádí rotační pohyb na analogový signál. Fungují na principu rotačního transformátoru. Konstrukčně je resolver podobný synchronnímu motoru. Resolver je tvořen dvěma vinutími na statoru a jedním vinutím na rotoru, schematicky je resolver znázorněn na obr. 18. Vinutí na statoru jsou vzájemně prostorově pootočeny o 90°. Napájené může být rotorové, ale i statorové vinutí, běžnější je však napájení rotorového vinutí. Při otáčení rotoru vzniká elektromagnetická indukce mezi cívkami rotoru a statoru. Při natočení rotoru je pak napětí na cívkách rotoru fázově posunuté. Výstupem resolveru jsou tedy dvě napětí se sinusovými průběhy s vzájemným posunutím o 90°. Schéma resolveru a výstupní signál z jedné cívky je zobrazen na obr. 17. [24,25,26]



Obr. 17) Princip magnetického inkrementálního snímače (resolveru) a jeho výstupního signálu se změnou amplitudy napětí u_1 a fázového posunu α [27]

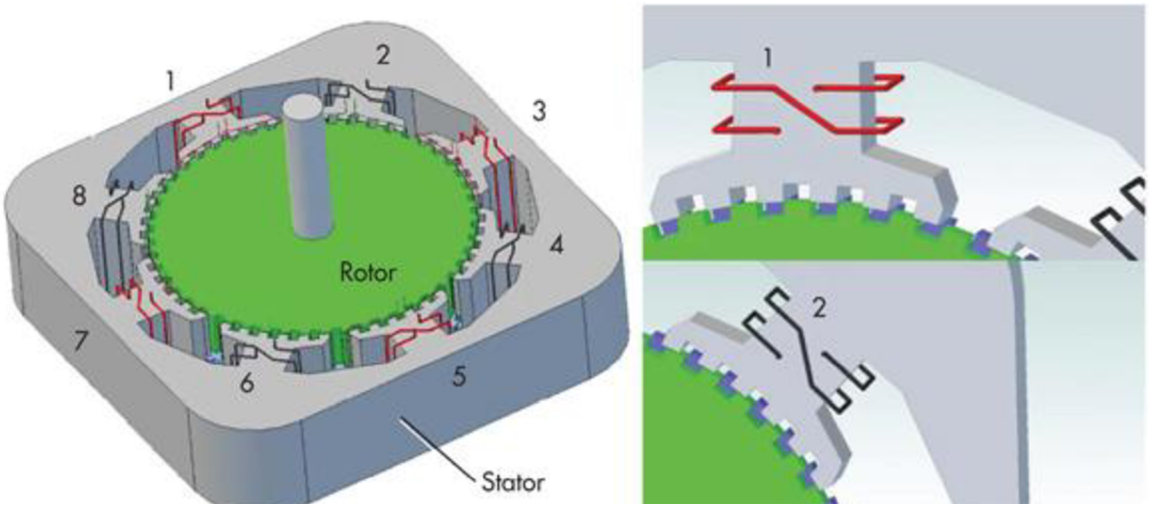
Výhodou resolveru je velký rozsah otáček, vysoké rozlišení, vysoká přesnost i při změně teplot a odolnost vůči nečistotám. Velkou výhodou je i určení přesné polohy bezprostředně po zapnutí bez nutnosti pootočení. [25,27]



Obr. 18) Průběh nosného signálu při otáčení resolveru na jednotlivých cívkách a jeho výstupní zpracované signály [25]

8.1.2 Absolutní resolver

Pro příklad velkého rozlišení snímače vezmeme absolutní magnetický enkodér. Absolutní magnetický snímač se od relativního liší tím, že na hřídeli jsou sériově řazeny dva zubové kotouče oproti jednomu zubovému kotouči relativního snímače. Tyto zubové kotouče jsou vzájemně pootočeny o délku jednoho zubu. Dále pak mají složitější zapojení pólů statorového vinutí. Například osmi pólový enkodér se 100 zuby provede za jednu otáčku 50 cyklů. Jako cyklus se bere sinusoida nebo cosinusoida o délce 2π,, při které se dosáhne maximální i minimální hodnoty a křivka skončí na původní funkční hodnotě. Počet pólů tedy odpovídá součtu cyklů sinusoid a cosinusoid během jedné otáčky. Tento princip se dá analogicky přepsat jako součet maxim a minim sinusoid nebo cosinusoid během jedné otáčky, nebo také jako součet maxim nebo minim sinusoid a cosinusoid. Absolutní signál se rozdělí emulátorem na 640 bodů (160 bodů pro každý kvadrant) pro každý cyklus. Při 50 cyklech za otáčku a 640 bodech na cyklus nám vychází rozlišení 32 000 bodů za otáčku. To je dostatečně vysoké výstupní rozlišení na plynulé ovládání. [26]

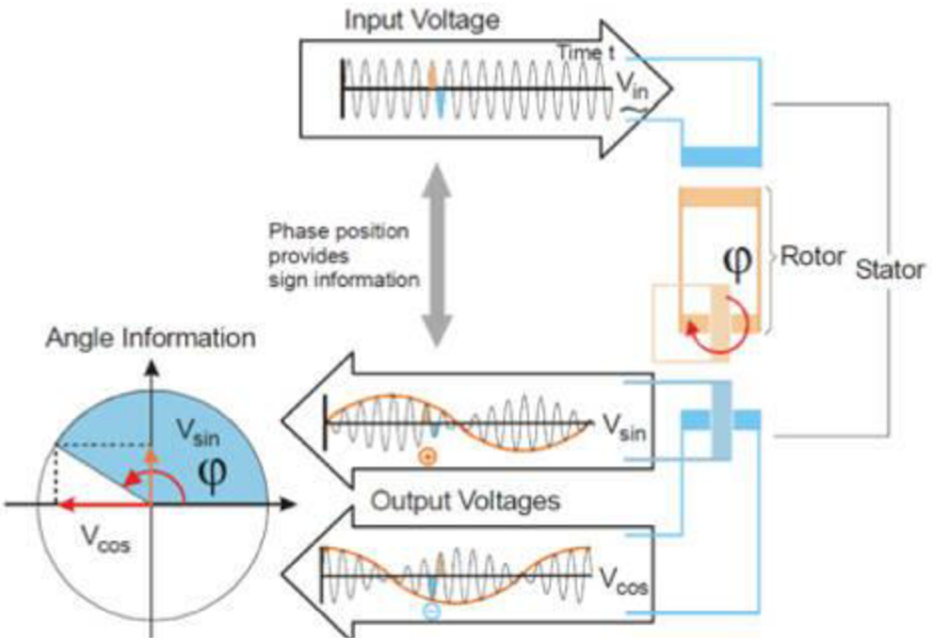


Obr. 19) Grafické zobrazení resolveru a jeho částí: rotor se zuby a stator s osmi cívkami [26]

8.2 Identifikace parametrů odměřování

Pro nastavení pohonů v řídicím systému je zapotřebí znát parametry daných pohonů. Bez znalosti přesných parametrů sice pohon zapojíme tak, že bude komunikovat, nicméně nebude fungovat správně. Pro správný chod pohonu je zapotřebí znát mimo jiné počet pólů resolveru. V získaných dokumentech k pohonům nebyla všechna potřebná data k jejich zprovoznění. V tomto případě právě nebylo možné najít parametry resolverů použitých v jednotlivých pohonech.

Proto se přešlo k identifikaci typu odměřování za pomoci měření. Toto řešení je technicky i časově nenáročné a v případě dostupnosti osciloskopu levné. Princip spočívá v připojení jednotlivých resolverů k osciloskopu a zjištění počtu maximálních a minimálních napěťových amplitud za otáčku, což odpovídá počtu pólů resolveru.



Obr. 20) Diagram výstupních napětí V poskytnutých resolverem při natočení φ [28]

8.3 Popis průběhu měření resolveru

8.3.1 Připojení počítače k frekvenčnímu měniči

Připojení řídicího počítače k frekvenčnímu měniči je prováděno buď přímo, nebo nepřímo. Využívaný KeControl (PLC jednotka) má pouze jedno rozhraní ethernet pro připojení ovládacího prvku. Pro připojení pouze jednoho ovládacího prvku můžeme zvolit přímou variantu, k propojení řídicího PC a PLC by tak stačil nekřížený ethernetový kabel. Pokud chceme mít v síti více ovládacích prvků, jako v tomto případě, ve kterém máme řídicí PC i ruční ovládací panel KeTop, je nutné zvolit nepřímou variantu. Ta zahrnuje použití switche nebo routeru a třech kabelů ethernet pro zasíťování všech ovládacích prvků k PLC.

Dále je nutné nastavit počítači připojení ke správné síti. Je potřeba nastavit IP adresu počítače a masku podsítě tak, aby odpovídala systémové síti. U počítače se provádí nastavení síťového připojení v TCP/IPv4, kdy je nutné nastavit jak IP adresu PC v síti, např. v tomto konkrétním případě 192.168.1.2, tak i masku podsítě, např. 255.255.255.0, případně i bránu sítě. IP adresa počítače by se neměla shodovat s IP adresou jiného prvku. V případě duplicity nastane chyba, která by však měla být oznámena systémem.

8.3.2 Nastavení frekvenčního měniče

U frekvenčního měniče je defaultně nastavena IP adresa 192.168.0.1. Tuhle adresu je nutné změnit stejně jako Gateway tak, aby všechny prvky systému byly v jedné podsíti s unikátními IP adresami. Frekvenční měniče proto byly nastaveny na IP adresu 192.168.1.11-16 a Gateway 192.168.1.1. Tyto změny se provádí přímo na panelu frekvenčního měniče (viz obr. 21). Po nastavení těchto dat je nutné frekvenční měnič restartovat, aby se nové nastavení projevilo. Aby se projevily změny v systému, nestačí jen restartovat měniče, ale i PLC.

Obr. 21) Ovládací panel frekvenčního měniče [10]

8.3.3 Nastavení IP adresy a Gateway

Pro nastavení adres frekvenčního měniče je nutné změnit tyto adresy přímo na frekvenčním měniči. K tomuto nastavení slouží ovládací panel umístěný přímo na frekvenčním měniči. Při vybrání jejich nastavení (viz tab 6, 7), začne upravované číslo původního nastavení blikat. Pro změnu se používají tlačítka se šipkami Up nebo Down. Po dosažení správné číselné kombinace se potvrzuje tlačítkem Enter, což nás posune do nastavení dalšího políčka adresy. Takto se nastaví celá adresa a následně se také potvrdí tlačítkem Enter, čímž se změněná adresa uloží. Změny se projeví až po restartu systému. Při zmáčknutí tlačítka Esc během nastavování se nastavovaní zruší beze změny původní adresy.

Tab 6) Cesta pro nastavení IP adresy frekvenčního měniče

Příkaz	Zobrazená text
Enter	Comm. protocol
Up	Device info
Up	Ethernet
Enter	FKM-Eng
Enter	IP-Address (default)
Enter	*Up/ Down*
Enter	IP-Address (set)

Tab 7) Cesta pro nastavení Gateway frekvenčního měniče

Příkaz	Zobrazená text
Enter	Comm. protocol
Up	Device info
Up	Ethernet
Enter	FKM-Eng
Enter	IP-Address
Up	Mac-Address
Up	Gateway (default)
Enter	*Up/ Down*
Enter	Gateway (set)

8.3.4 Nastavení Node-id měniče

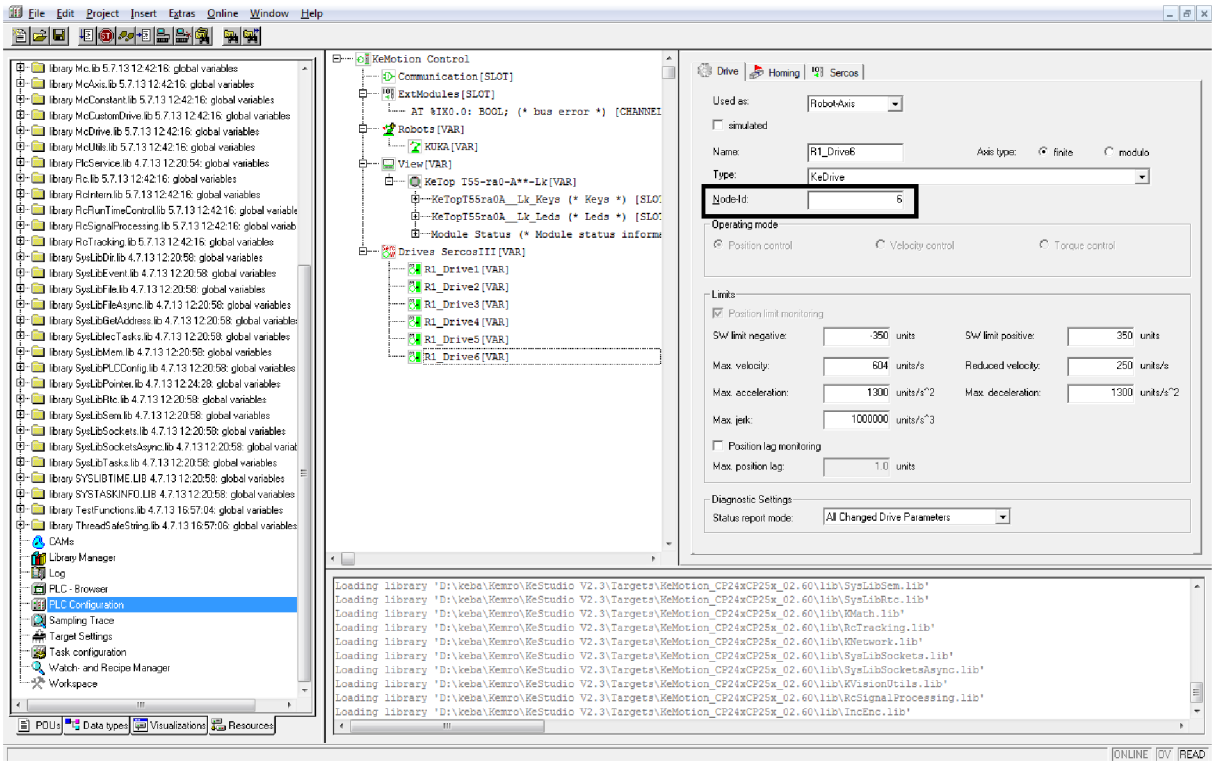
Pro správnou komunikaci frekvenčního měniče a PLC je kromě IP adresy a Gateway nutné nastavit také Node-id číslo jednotlivých měničů a to na frekvenčním měniči i v programu PLC. Tohle číslo se musí shodovat s jednotlivými osami v PLC programu. Každému páru měnič-osa přísluší jedno Node-id číslo. Defaultně je Node-id nastaveno na hodnotu 1.

Tab 8) Cesta pro nastavení Node-id frekvenčního měniče

Příkaz	Zobrazená text
Enter	Comm. protocol
Up	Device Inko
UP	Ethernet
Up	Slave Adress
Enter	Adr. (default)
Enter	*Up/ Down*
Enter	Adr. (set)

8.3.5 Nastavení Node-id osy

Nastavení Node-id se provádí přímo na frekvenčním měniči (viz předchozí kapitola 8.3.4) i v programu PLC. Pro přiřazení Node-id jednotlivým osám pro PLC se používá program KeStudio. Pro nastavení Node-id je připravená položka, která se nachází v masce jednotlivých os v záložce Resources v kartě PLC Configuration. Defaultně je i zde Node-id nastaveno na hodnotu 1.



Obr. 22) Nastavení Node-id osy v KeStudio

Zvolené ose bylo přiřazeno následné nastavení Node-id: programové ose A1 a frekvenčnímu měniči osy A1 odpovídá Node-id = 1. Pro osu A2 je Node-id =2 atd. až do osy A6, která je zobrazena na obr. 22.

8.3.6 Odbrzdění motoru

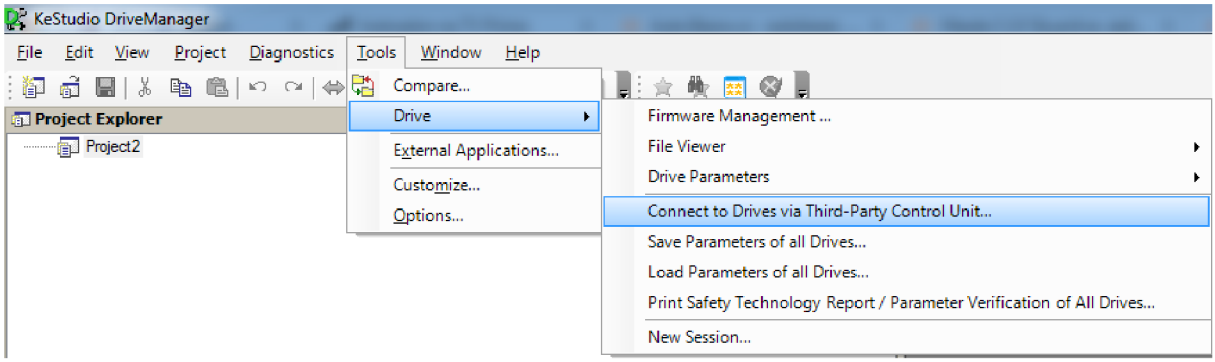
Pro naměření resolveru bylo nutné vypnout motorovou brzdu. Ta je po zapnutí pohonu automaticky sepnutá z důvodu bezpečnosti. Vypnutí motorové brzdy se provádí v programu KeStudio DriveManager. Pomocí tohoto programu se lze připojit k frekvenčnímu měniči. Pro toto spojení je několik možností:

1. přes speciální sériový kabel
2. přes ethernetové připojení
3. pomocí připojení přes řídicí systém (routing)

Podle způsobu zapojení byla zvolena třetí možnost. Tedy připojení přes řídicí systém.

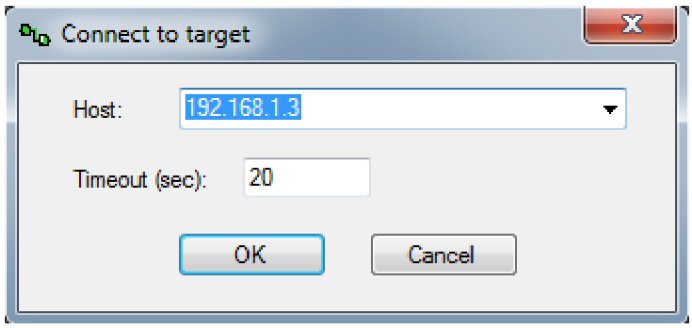
Pro připojení přes řídicí systém se postupovalo následovně:

1. Spuštění KeStudio DriveManager.
2. V záložce otevřít **Connect to Drives via Third-Party Control unit…** cesta k této položce je následující:
   Tools -> Drive -> Connect to Drives via Third-Party Control unit…, která je zobrazena na obr. 23.



Obr. 23) Cesta pro připojení DriveManager přes řídicí jednotku třetí strany

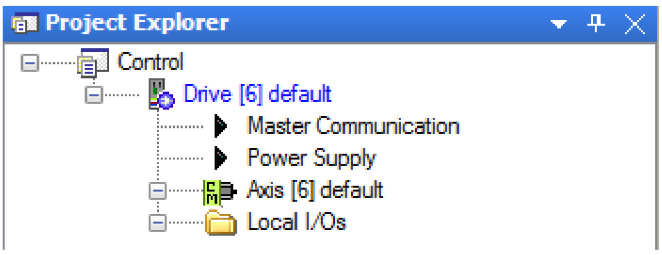
3. Otevře se okno **Connect to target**. V něm je potřeba do položky **Host** vyplnit IP adresu PLC, v tomto případě IP 192.168.1.3 (dle obr. 24).



Obr. 24) Dialogové okno Connect to target s vyplněnými parametry

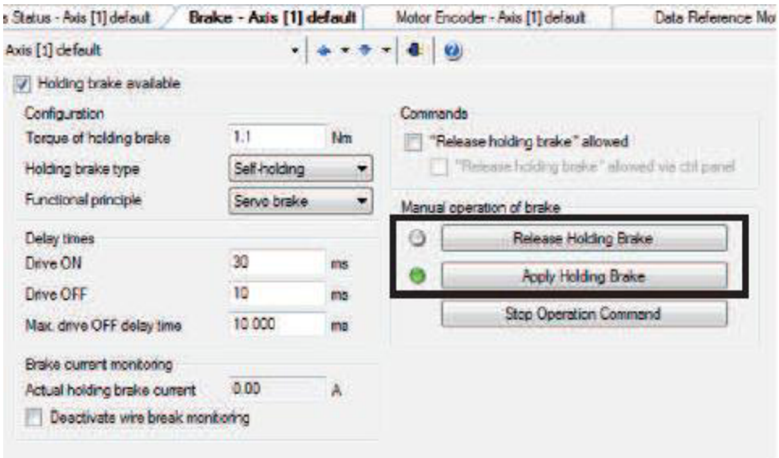
Dále se zde vyplňuje pole **Timeout (sec)**, kterým se nastavuje doba vyhledávání. Defaultně je zde nastavena hodnota 20, která dostačuje.

4. Po potvrzení tlačítkem OK by se měly v kartě **Project Explorer** objevit položky napojených a konfigurovaných měničů (viz obr. 25).



Obr. 25) Karta Project Explorer s jedním zobrazeným pohonem šesté osy

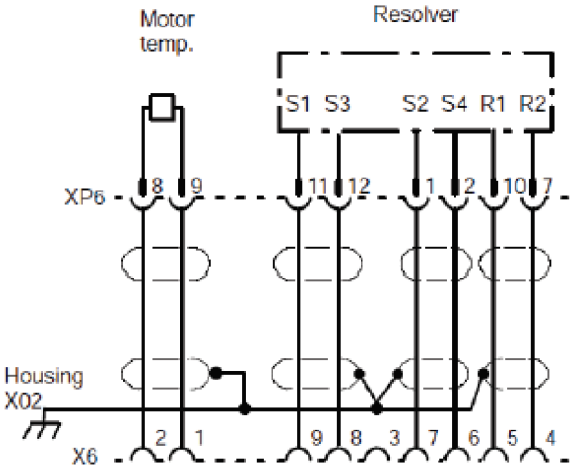
5. V kartě **Projekt Explorer** zobrazíme masku **Brake**, kterou nalezneme v **Drive-> Axis-> Motor, Brake, Measuring Systems -> Brake**. Masku zobrazení **Brake** je vidět na obr. 26. Zde můžeme motorovou brzdu jednoduše aktivovat: **Apply Holding Brake,** nebo deaktivovat: **Release Holding Brake** pomocí tlačítek zvýrazněných na obr. 26.



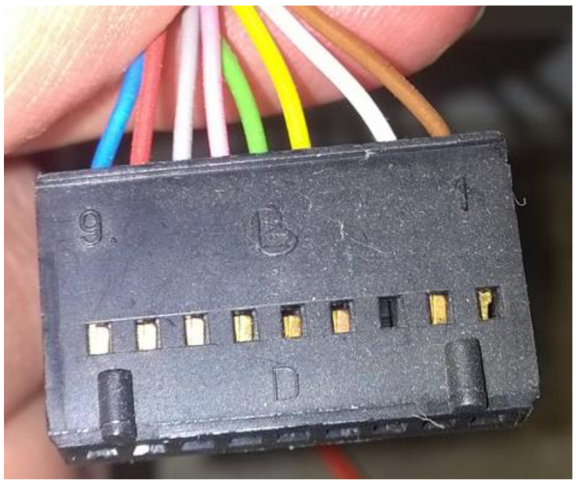
Obr. 26) Zobrazená maska Brake

8.3.7 Připojení osciloskopu

Z každého motoru vede pro zpětnovazební smyčku osm vodičů, z nichž dva jsou od termistoru, které jsou pro prováděné měření nepodstatné. Díky znalosti zapojení vodičů do konektorů a znalosti jejich funkcí (viz obr. 27) bylo snadné připojit osciloskop k statorovým cívkám. Na tomto schématu vidíme, že vodiče R1 a R2 jsou připojeny k rotorové cívce resolveru a že na tuto cívku přichází napětí nosné frekvence. Vodiče S2 a S4, S1 a S3 jsou připojeny k statorovým cívkám resolveru a na těchto vodičích se nachází výstupní napětí cívek.



Obr. 27) Schéma zapojení vodičů zpětnovazební smyčky [22]



Obr. 28) Fotografie zapojení vodičů do konektoru

Na obr. 28 je fotografie původního konektoru resolveru včetně číslování jednotlivých pinů. Díky schématu zapojení tak můžeme přiřadit barvu vodičů k jednotlivým prvkům. V řešení propojení mezi robotem a řídicí skříní bude tento konektor nahrazen, nicméně zapojení do konektoru zůstane totožné.

Tab 9) Připojení jednotlivých vodičů zpětnovazební smyčky na konektor

Pin	Barva		Prvek
1	Hnědá		Termistor
2	Bíla		Termistor
3	-		-
4	Žlutá		Vinutí rotoru R2
5	Zelená		Vinutí rotoru R1
6	Růžová		Vinutí statoru S4
7	Šedá		Vinutí statoru S2
8	Červená		Vinutí statoru S3
9	Modrá		Vinutí statoru S1

Pro naměření počtu pólů resolveru za pomoci osciloskopu je nutné připojit osciloskop alespoň na jednu výstupní cívku resolveru. Osciloskop se připojuje paralelně na výstupní signál resolveru. Na vstupním napětí nosného signálu sice při otáčení také k mírné indukci dochází, ale z hlediska měření pólu je zanedbatelná. V tomto případě jsou výstupní signály na statorovém vinutí resolveru, tedy na pinech 6(S4), 7(S2), 8(S3) a 9(S1). Při měření se využilo obou kanálů osciloskopu, jeden pro sinusový a druhý pro kosinusový signál. Pro připojení byly použity dvě sondy, tedy pro každý z kanálů a statorů jeden. Po kalibraci zobrazeného signálu na osciloskopu je vše připraveno k měření.

Po označení polohy hřídele vůči kostře motoru, která nám pomůže určit jednu otáčku motoru, je zapotřebí odbrzdit motor. Poté se může začít s měřením. Měří se počet

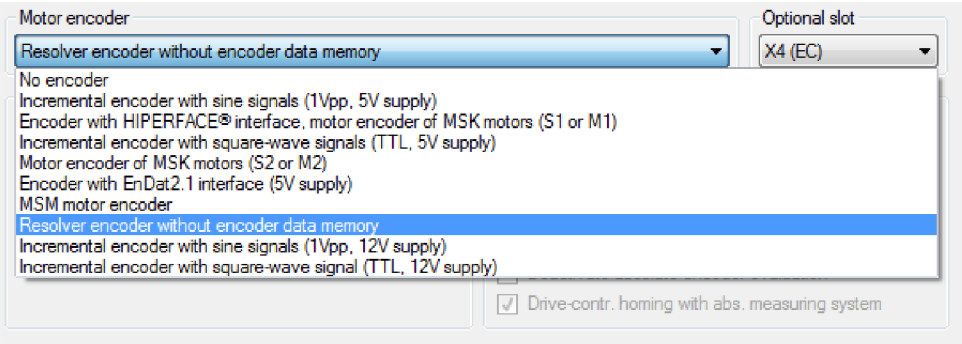
maximálních amplitud během jedné otáčky. Aby se amplituda začala měnit, je nutné s hřídelí ručně otáčet a přitom sledovat průběh výstupních signálů resolveru na osciloskopu a započítat každou amplitudu, která dosáhne maxima v průběhu jedné otáčky. Po provedení jedné otáčky bylo napočítáno šest maxim/minim s nejvyšší amplitudou. To znamená, že měřený resolver je šestipólový. Systém KeMotion pracuje s počtem pólových párů, které získáme jednoduše vydělením počtu pólu dvěma. Toto měření musíme provést pro všechny druhy rozdílných pohonů.

8.3.8 Nastavení enkodéru pro daný motor

Nastavení enkodéru opět probíhá v programu KeStudio DriveManager. Zde se jako první nastavuje typ enkodéru v záložce **Motor enkoder**. Z nabízených možností nastavení enkodéru byl jen jeden resolverový a byl tedy vybrán (*Rotary enkoder*).

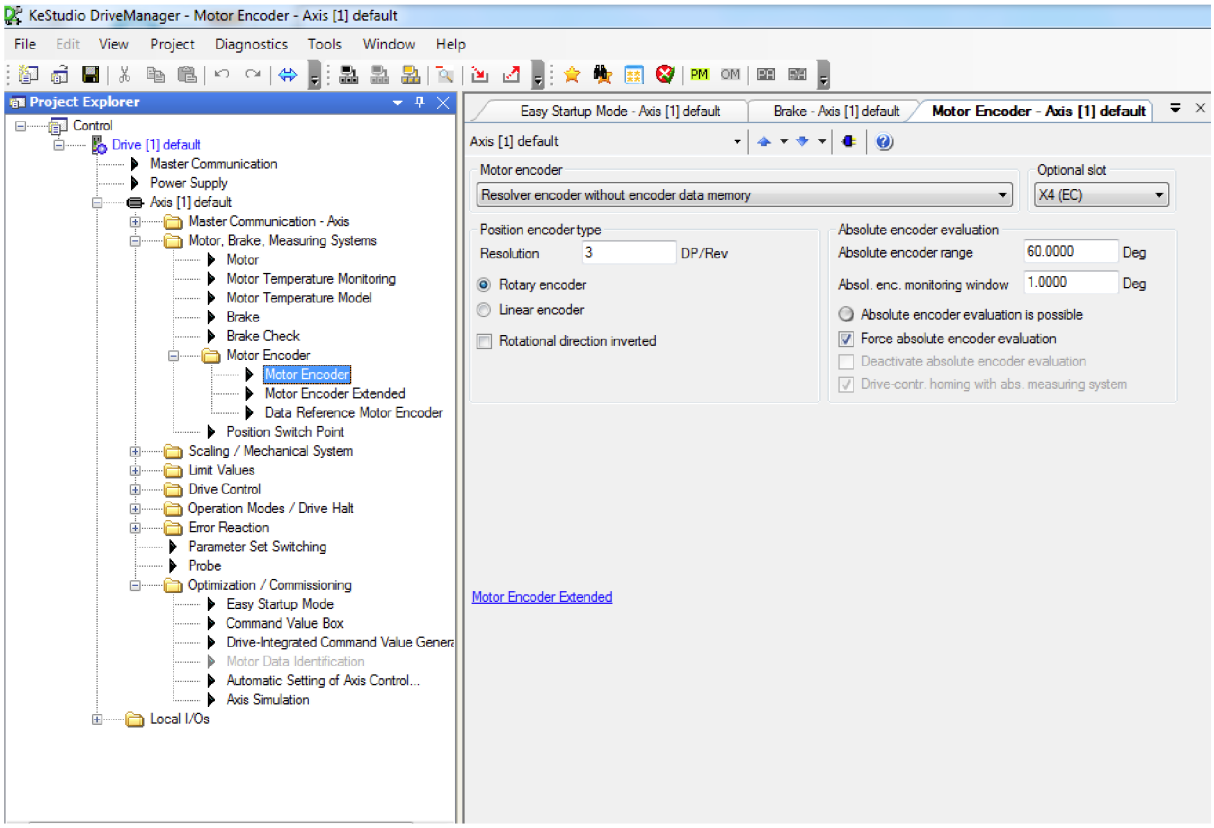
Cesta k nastavení v masce Motor Enkoder, najdeme v kartě **Projekt Explorer**

Control -> Drive -> Axis -> Motor, Brake, Measuring Systems -> Motor Enkoder -> Motor Enkoder



Obr. 29) Výběr možných typů enkodérů

K nastavení počtu pólů slouží políčko **Resolution [DP/Rev]** (division periods or cycles per enkoder resolution), do kterého se zadává počet pólových dvojic. V našem případě polovina počtu pólů resolverů jednotlivých motorů, tedy tři. Dále je zde políčko **Absolute enkoder range [Deg]**, které se vyplňuje automaticky podle zadaného rozlišení. Toto políčko obsahuje absolutní rozsah enkodéru, v našem případě stupně natočení mezi jednotlivými amplitudovými maximy nebo minimy. Další políčko **Absol. enc. monitoring window** slouží jako měřítko zobrazovacího okna. Popsané nastavení je zobrazeno na obr. 30.



Obr. 30) Maska Motor Encoder pro nastavení enkodéru

V případě resolverového systému KEBA se rozlišení počítá podle vzorce:

$$\text{rozlišení} = \text{počet pólových párů} * 2^{15}$$

Na motorech Siemens 1FK6032 jsme naměřili šest pólů, tzn. tři pólové páry, tedy:

$$\text{rozlišení} = 3 * 2^{15}$$

$$\text{rozlišení} = 98304 \text{ bodů/ otáčku}$$

Při propojování přes řídicí systém nastaly drobné komplikace. Jako potenciální chyba pro neúspěšné spojení může být i zapnutý firewall, nebo také zapomenutí nastavení sítě řídicího PC na pevnou IP adresu, Gateway a masku podsítě. Robot včetně řídicí skříně byl dlouhodobě odpojen od elektrické sítě, což zřejmě způsobilo ztrátu nastavení IP adresy a Gateway a jejich nastavení do defaultního stavu. Bylo tedy zapotřebí znovu IP adresy a Gateway měničů nastavit.

8.4 Další možnosti zjištění parametrů odměřování

V případě neúspěchu zjištění typu a parametrů enkodérů se nabízí následující možnosti:

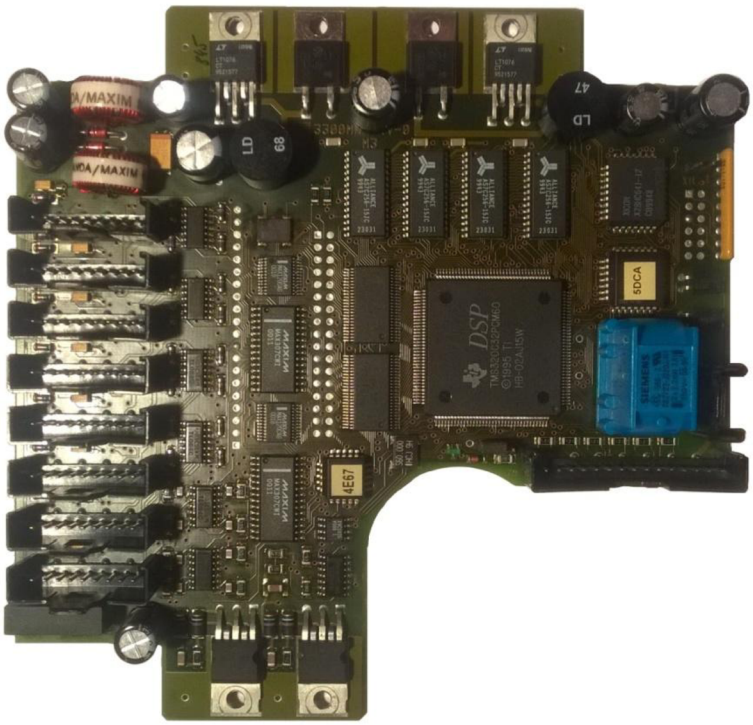
1. Kompletní výměna motorů za motory nové s odpovídajícími parametry, výkonovými i velikostními, a znalostí enkodérů. V tomto případě mohou nastat technické komplikace při nahrazování původních motorů, protože

nemusí sedět hřídele, příruby apod. Pak by bylo nutné dělat redukce, případně jiné konstrukční úpravy. Toto řešení je finančně náročné a pro tento konkrétní případ i zbytečné, jelikož tento robot nebyl v době provozu příliš využíván a motory by tedy měly být v dobrém stavu. Za zvážení by toto řešení stálo v případě, kdyby byl robot vyřazen z náročného provozu, nebo by motory byly ve špatném či poruchovém technickém stavu.

2. Výměna či přidání rotačního enkodéru. Tohle řešení je také technicky náročné, nicméně ne tolik jako výměna celých motorů. Zároveň se jedná o výrazně levnější variantu.

9 PROPOJENÍ POHONŮ ROBOTU S ŘÍDÍCÍ SKŘÍNÍ

V původní podobě zapojení jsou mezi robotem a řídicí skříní taženy dva kabely. Jeden pro napájení a druhý pro zpětnovazební smyčku. Kabel pro zpětnovazební smyčku obsahoval pouhých 12 vodičů, a to i přes to, že počet vodičů v patě robotu vedoucích do resolverové karty je 48. Tedy pro každý z šesti pohonů osm vodičů (šest vodičů pro resolver a dva vodiče pro termistory). Tuto redukci zajišťuje u robotů KUKA resolverová karta (viz obr. 31), která je umístěna ve skříňce na patě robotu. Jelikož se tuto kartu nepodařilo rozkódovat a společnost KEBA v době zahájení výměny systému svou vlastní resolverovou kartu nenabízela, byl jediný kabel pro zpětnovazební smyčku nahrazen šesticí kabelů zpětnovazební smyčky, po jednom kabelu pro každý motor. Kompletní propojení robotu s řídicí skříní je tedy nyní tvořeno sedmi kabely: šest nových pro zpětnovazební smyčku a jeden pro napájení servomotorů a brzd, který zůstal zachován.



Obr. 31) Fotografie resolverové karty robotu KUKA KR 15/2

V současné době již firma KEBA vlastní resolverovou kartu nabízí. V případě realizace dalšího systémového retrofitingu robotu v praxi by se zajisté vyplatilo tuto kartu použít zejména kvůli redukci množství kabeláže.

9.1 Nahrazení resolverové karty

Pro připojení pohonu k resolverové kartě je potřeba osm vodičů zpětnovazební smyčky. Vodiče od jednotlivých pohonů jsou ke kartě připojeny za pomoci devíti pinového konektoru Molex, kdy jeden pin zůstává volný a tvoří mezeru mezi šesti vodiči resolveru a dvěma vodiči termistoru (viz schéma na obr. 34). Signály zpracované resolverovou kartou jsou vyvedeny do

dvou dalších konektorů Molex, jednoho patnácti pinového a jednoho čtyř pinového, ty jsou pak vedeny jedním kabelem do řídicí skříně.

Propojení mezi vodiči pohonů a kabelem vedoucím do řídicí skříně je pro účely testování provedeno pomocí svorkovnice. Toto řešení je sice jednoduché, levné a pro účely testovaní v podstatě dostatečné, ale pro kompletní propojení nedostačující především z hlediska rušení, zkreslení a ztráty jednotlivých signálů zpětnovazební smyčky. Nejdůležitější je správné nesení resolverových signálů bez rušení. Při testování byly signály zkresleny samotnými kabely sond osciloskopu, proto je systém nerozpoznal. Základní premisou pro toto propojení bylo využití již dříve použitých konektorů Molex připojených na vodiče vedoucí z pohonů. Bohužel tyto typy již firma nevyrábí a jejich protikusy nejsou k dostání. Jako náhrada pro toto spojení byla navržena tato řešení:

1. Propojení vodičů pohonů a vodiči kabelů pomocí svorkovnice.
2. Plošný spoj umístěn v patě robotu, který obsahuje šest vstupních Molex konektorů z pohonů a šest výstupních Molex konektorů. Molex konektor by byl připojen na kabel vedoucí do řídicí skříně přes průchodky. V tomto případě se jedná o aktuální Molex konektory.
3. Plošný spoj umístěn v patě robotu, který obsahuje šest vstupních Molex konektorů z pohonů a šest výstupních CAN konektorů. CAN konektor by byl připojen na kabel vedoucí do řídicí skříně přes průchodky. Kabel by tak byl na obou koncích ukončen stejnými konektory, ale problém by mohl nastat s velikostí konektoru CAN v patě robotu.
4. Připojení vodičů pohonů na konektory CAN na patě robotu.

9.1.1 Vybrané řešení

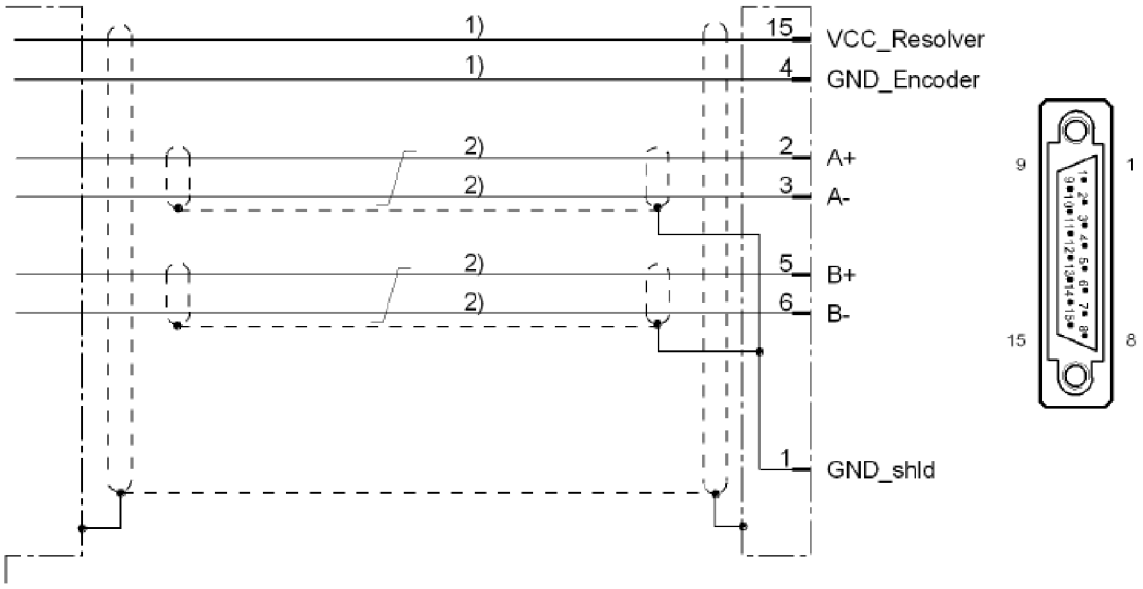
Z navrhovaných řešení je nejsnáze proveditelná a nejfunkčnější druhá varianta, při které je resolverová karta nahrazena plošným spojem s konektory Molex pro připojení, a to z těchto důvodů: dostatečné krytí přímo v patě robotu, rozměrové vlastnosti konektorů Molex, které mají oproti konektorům CAN možnost napájení výstupu kolmo k plošnému spoji a tím zajišťují dostatečný prostor ve skříňce pro resolverovou kartu. Následkem použití konektoru CAN by byla složitější konstrukce s ohledem na využitelný prostor a s tím spojené potíže při připojování a odpojování konektorů. S ohledem na původní konstrukční provedení pracující s konektory Molex bez problémů se signály bylo rozhodnuto, že využití těchto konektorů je optimální.

Obr. 32) Vyrobený a osazený plošný spoj

9.1.2 Provedené řešení

Byly navrženy různé varianty plošného spoje s určenými parametry. Parametry vycházely především z použitelných rozměrů resolverové skříňky a možnosti uchycení nového plošného spoje v původních otvorech pro šroubky držících resolverovou kartu. Při návrhu rozmístění a vzdáleností konektorů se vycházelo z původního rozmístění konektorů na resolverové kartě. Dále bylo nutné zajistit, aby nový plošný spoj nezakrýval průchod kabelů pohonů zpětné vazby z robotu do resolverové skříňky.

Pro osazení navrženého plošného spoje byly vybrány devíti pinové konektory Molex C-Grid III, které nahrazují staré konektory použité v původním zapojení, které již výrobce nenabízí. Stejně jako původní konektory mají i nově vybrané vzdálenost mezi jednotlivými piny 2,54 mm.



Obr. 33) Schéma zapojení resolveru na CAN konektor [10]

1) Průřez kabelu min. 0,5mm^2
2) Průřez kabelu min. 0,14mm^2 [10]

Tab 10) Funkce zapojených pinů v CAN konektoru [10]

Pin	Signál	Funkce
1	GND_shld	připojení signálu stínění (vnitřní stínění)
2	A+	kladný analogový signál resolverové cívky A
3	A-	záporný analogový signál resolverové cívky A
4	GND_Encoder	referenční potenciál napájení
5	B+	kladný analogový signál resolverové cívky B
6	B-	záporný analogový signál resolverové cívky B
15	VCC_Resolver	napájení resolveru
Connector housing		vnější stínění

- A + cos +
- A - cos -
- B + sin +
- B - sin - [11]

9.2 Realizace propojení mezi odměřováním pohonů robotu a jeho řízením

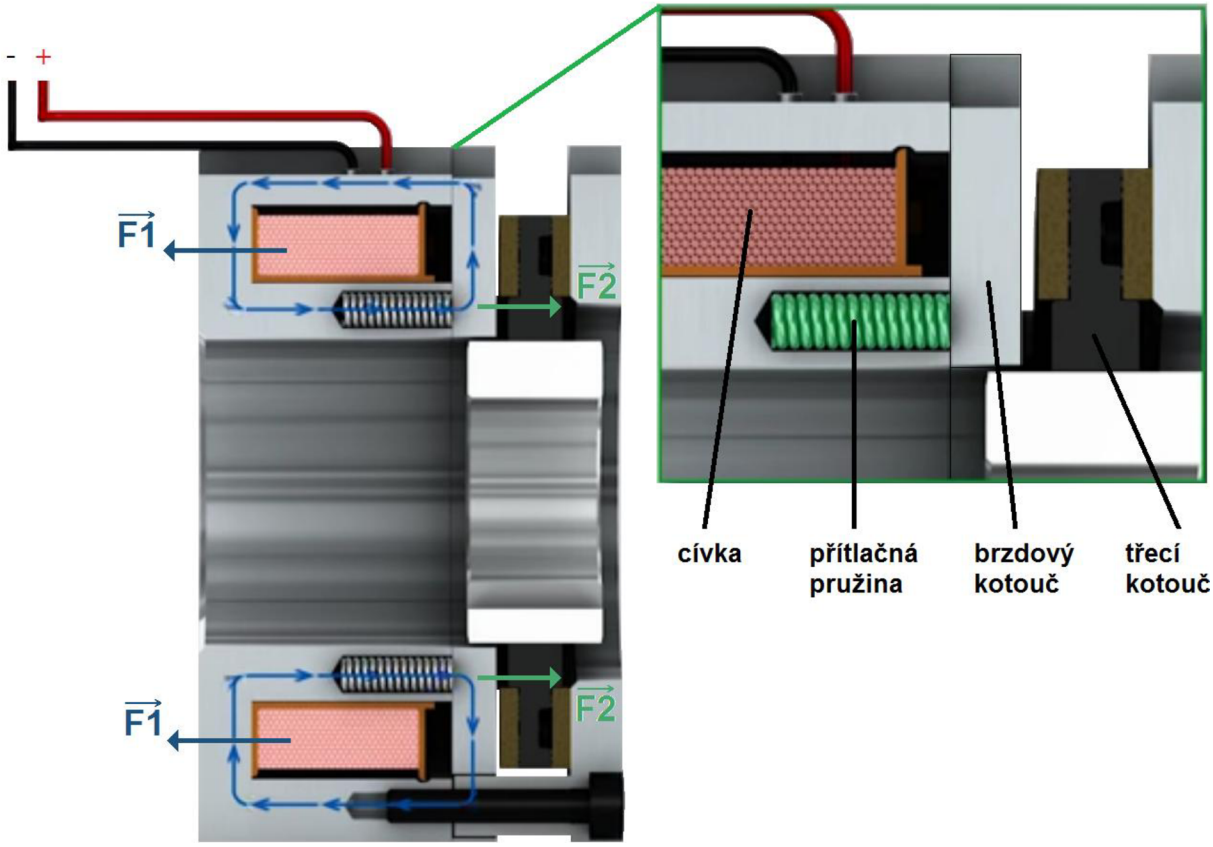
9.2.1 Tvorba kabelů

Pro realizaci zpětnovazební smyčky bylo potřeba vytvořit šestici identických kabelů. Tyto kabely musí být dostatečně stíněny od okolního elektromagnetického záření a elektrického šumu, který způsobuje rušení a zhoršení kvality přenášeného signálu. Tyto kabely jsou stíněné jak samotné, tak i mezi svými jednotlivými vodiči. Pro tuto potřebu byl vybrán s 2x(0,5mm^2)

+ 3x(2x 0,14mm^2). Frekvenční měniče mají pro zpětnovazební smyčku od enkodéru rozhraní v podobě dvouřadého patnácti pinového CAN konektoru. Kabel je z jedné strany zakončen konektorem Molex a z druhé strany CAN konektorem, do kterého je zapojen resolver, termistory jsou vyvedeny zvlášť do konektoru X6.

9.3 Princip odbrzdění brzdy servomotoru

Pro odbrzdění motoru je potřeba přivést na cívku brzdy stejnosměrný proud (DC). Tento proud při průchodu cívkou generuje elektromagnetické pole a vytváří z cívky elektromagnet. Elektromagnetické pole přitáhne brzdový kotouč od třecího kotouče k elektromagnetu. Zazní tak charakteristické cvaknutí, které uslyšíme i v případě sepnutí brzdy. Pro funkčnost brzdy musí být síla elektromagnetického pole (F1) elektromagnetu větší, než síla přítlačných pružin (F2). Tento princip servomotoru je zobrazen na obr. 34.



Obr. 34) Schéma brzdy servomotoru, směr síly F1 elektromagnetického pole působící na brzdový kotouč, směr síly F2 přítlačných pružin na brzdový kotouč [29]

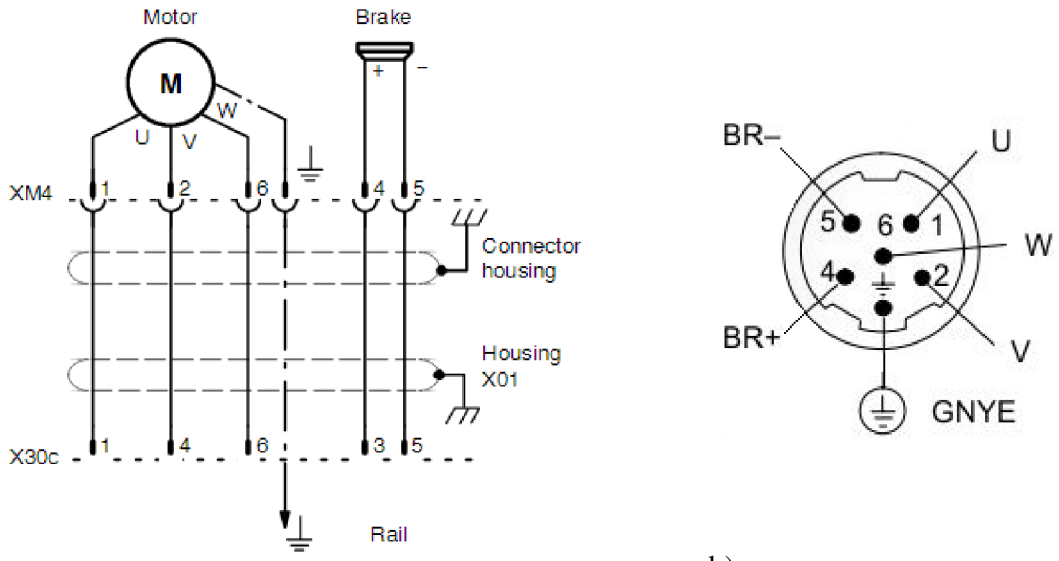
9.3.1 Připojení motorové brzdy

V originálním řídicím systému robotu KUKA byly motorové brzdy ovládány z jednoho místa, z bloku frekvenčních měničů. Navíc měl původní řídicí systém spřažené ovládání vždy dvou motorových brzd najednou. Systém KeMotion možnost ovládání brzd z jednoho místa nenabízí, ovládání brzdy motoru je přiřazeno měniči ovládajícímu právě tento motor. Proto je opět nutné řešit nedostatek ideálního počtu vodičů v původním napájecím kabelu: kabelem vede šest vodičů pro napájení brzd. Přitom pro každou z šesti brzd jsou potřeba dva vodiče, tedy v nejjednodušší variantě dvanáct vodičů.

Napájení robotu je provedené pomocí konektoru X30 na straně robotu i na straně řídicí skříně. Tímto konektorem je vedené napájení motorů i jejich brzd. Konektor X30 je tvořen šesticí modulů, každému pohonu je přiřazen jeden modul. Každý z těchto modulů má šesticí pinů. Na výstupním konektoru X30 z robotu je zapojení následující: tři piny jsou využité pro napájení jednotlivých fází pohonu, dva piny pro napájení brzdy motoru a jeden využitý není (viz obr. 35). Tímto způsobem je zapojeno všech šest pohonů. Uzemnění je napojeno na kostru konektoru.

Takto vedené napájení by bylo ideální i pro nový řídicí systém. Nicméně už v samotném protikusu konektoru X30 na straně robotu dochází k redukci počtu vodičů napájejících brzdy motoru. Samotným napájecím kabelem vede jen šest vodičů pro napájení brzd. Tato redukce je provedena tak, že každá dvojce vodičů určená pro napájení jedné brzdy napájí brzdy dvě. Jednotlivé brzdy jsou spřaženy následovně: brzda osy A1 s A4, A2 s A5 A3 s A6.

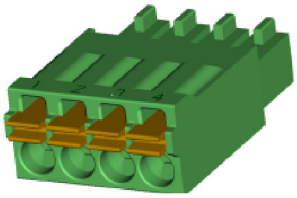
Spřažení brzd je možné díky tomu, že při samotném řízení robotu se motorové brzdy nevyužívají. Zpomalování a držení pozice při operacích robotu je provedeno samotným momentovým výkonem motoru. Brzdy jsou zde kromě nouzového zastavení využívány i v případě držení polohy v klidovém stavu robotu.



a) b)

Obr. 35) a) Schéma zapojení napájení motoru a brzdy [22], b) Schéma zapojení pinů v konektoru napájení [30]

K připojení napájení motorové brzdy na frekvenční měnič KeDrive slouží konektor X6, jehož kontakty a jejich popis lze vidět na obr. 36. Tento konektor kromě zapojení napájení brzdy na pinech 3 a 4 slouží také k zapojení zpětné vazby od termistoru motoru na pinech 1 a 2.

View	Connec-tion	Signal name	Function
	1	MotTemp+	Input motor temperature evaluation
	2	MotTemp-	
	3	+24VBr	Output for controlling the motor holding brake
	4	0VBr	

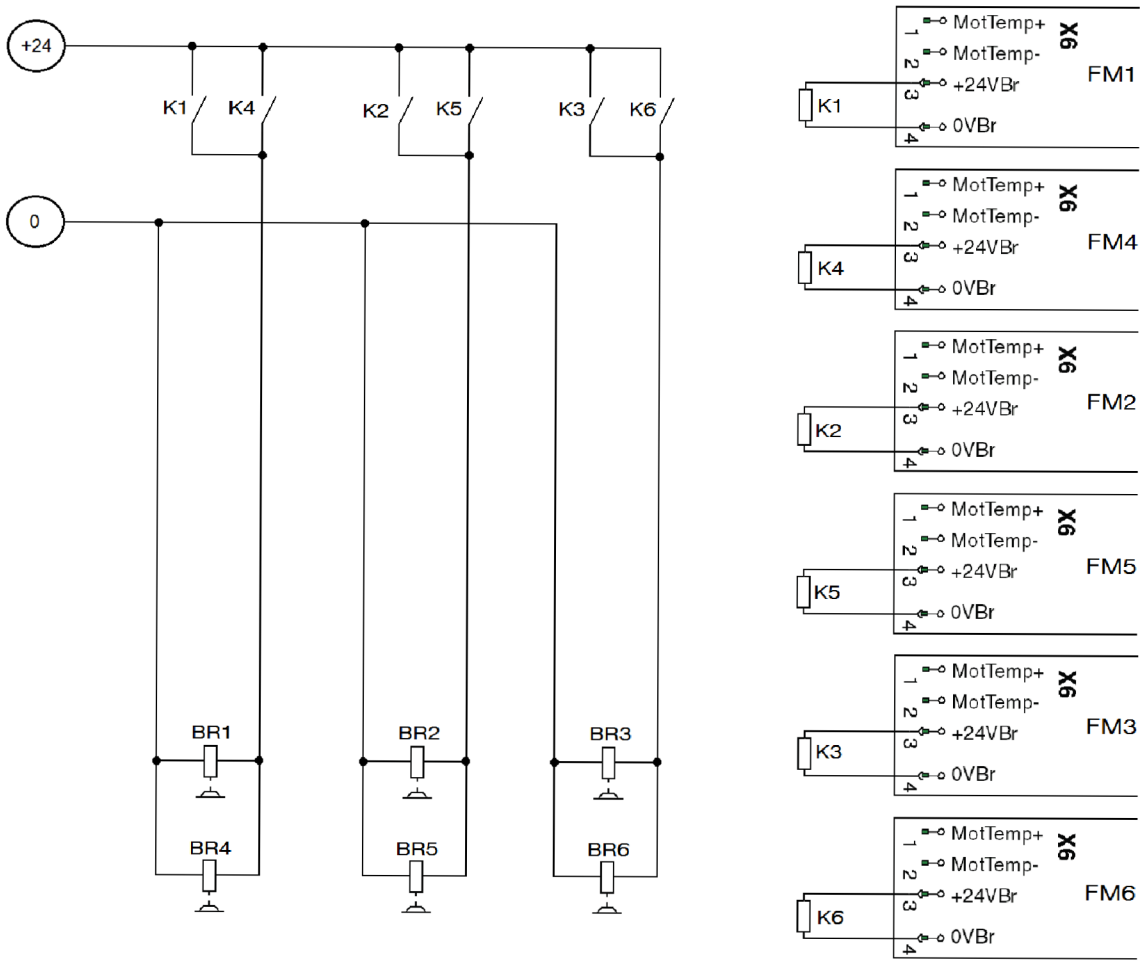
Obr. 36) Konektor X6 pro připojení brzdy a termistoru [9]

Možnosti provedení propojení motorových brzd se systémem KeMotion:

1. Spřežení dvou brzd a ovládání brzd dvou měničů.
   Zachování původního vedení napájení brzd. Dvěma vodiči ovládat vždy dvě osy zároveň (A1 s A4, A2 s A5, A3 s A6), každý ze spřažených frekvenčních měničů by zároveň spínal nebo rozpínal obě spřažené brzdy. Tyto dvojice brzd jsou vždy zapojeny paralelně.
2. Propojení jednotlivých brzd s konkrétním měničem.
   Každý frekvenční měnič by ovládal jeden konkrétní motor i jeho brzdu. K tomuto řešení by bylo nutné přidat kabel s dalšími šesti vodiči, aby na každý měnič a brzdu připadaly dva vodiče. Případně by se toto řešení dalo provést jen s jedním dalším vodičem (sedmi vodiči celkem) a to tak, že každému měniči a brzdě by připadal jeden vodič s plusovým pólem a vodič s minusovým pólem by spojoval všechny měniče a brzdy dohromady.

9.3.2 Výběr řešení

Byla zvolena první možnost, tedy spřažení dvou brzd. A to z důvodu již provedeného zapojení. Na rozdíl od původního zapojení brzdy neovládá blok frekvenčních měničů, ale každý měnič zvlášť. Jelikož zapojení frekvenčního měniče k jeho brzdě není přímo možné kvůli absenci vodičů, bylo navrženo řešení zapojení přes spínací relé. Schéma tohoto zapojení je zobrazeno na obr. 37.



Obr. 37) Schéma zapojení brzd

10 POLOHOVÁNÍ OS POHONU

10.1 Referencování pohonu

Referencování polohy pohonu je nutné provést u každého z pohonů zvlášť s ohledem na typ odměřování a možnosti jeho referencování. Typ reference se může nastavit v programu KeStudio i v DriveManageru.

10.1.1 Referencování v KeStudiu

Referencování pohonu nalezneme v konfiguračním okně osy v masce **Homing** (viz kapitola 8.1). V této masce se volí **Homing mode** podle typu odměřování.

Homing mode

V této položce vybíráme typ referenčního cyklu. Referencovaní relativního odměřování se provádí nulovacím pulzem. Z nabízených možností tomu odpovídají možnosti 33 a 34 Homing to null impulse.

Pro referenci s absolutním odměřováním se používá možnost 35 Homing on the current position, reference na současnou pozici.

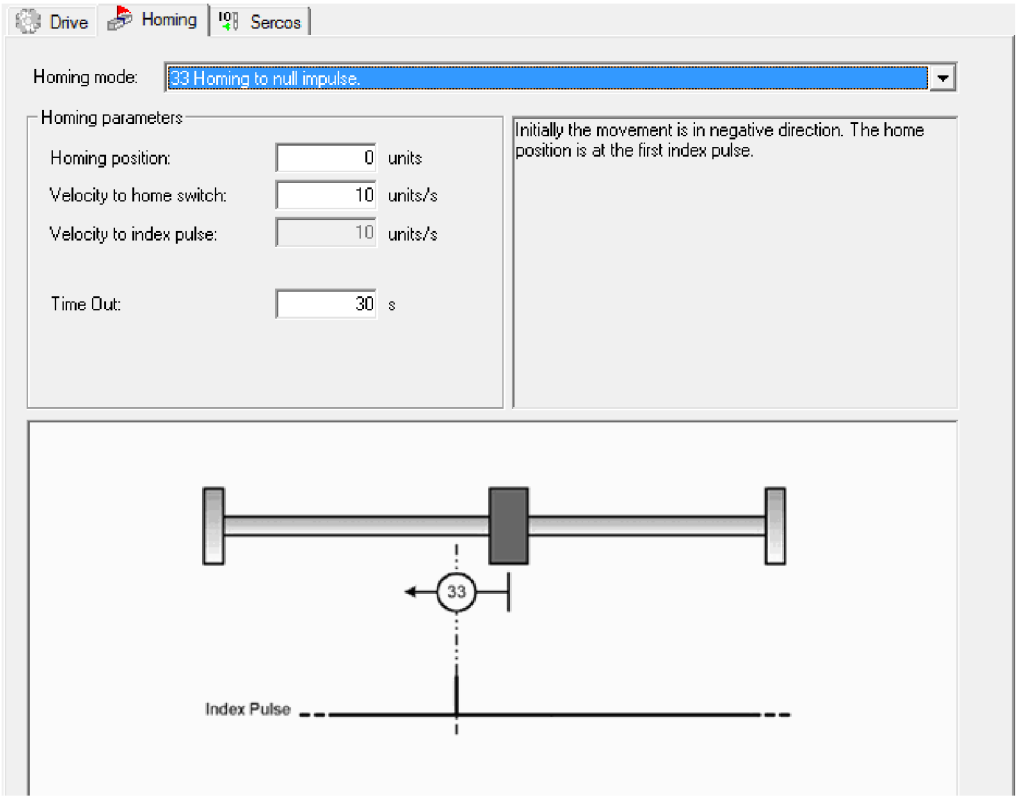
Následují položky:

Home position: Hodnota polohy, která je nastavena po dosažení referenční polohy.

Velocity to home switch: Rychlost pohybu, kterou se vyhledává referenční spínač.

Velocity to index pulse: Rychlost pohybu, kterou vyhledává pulz indexu.

Time Out: Čas, po kterém je referencování ukončeno, pokud nebyl nalezen signál.



Obr. 38) Typ referencování v masce osy (KeStudio)

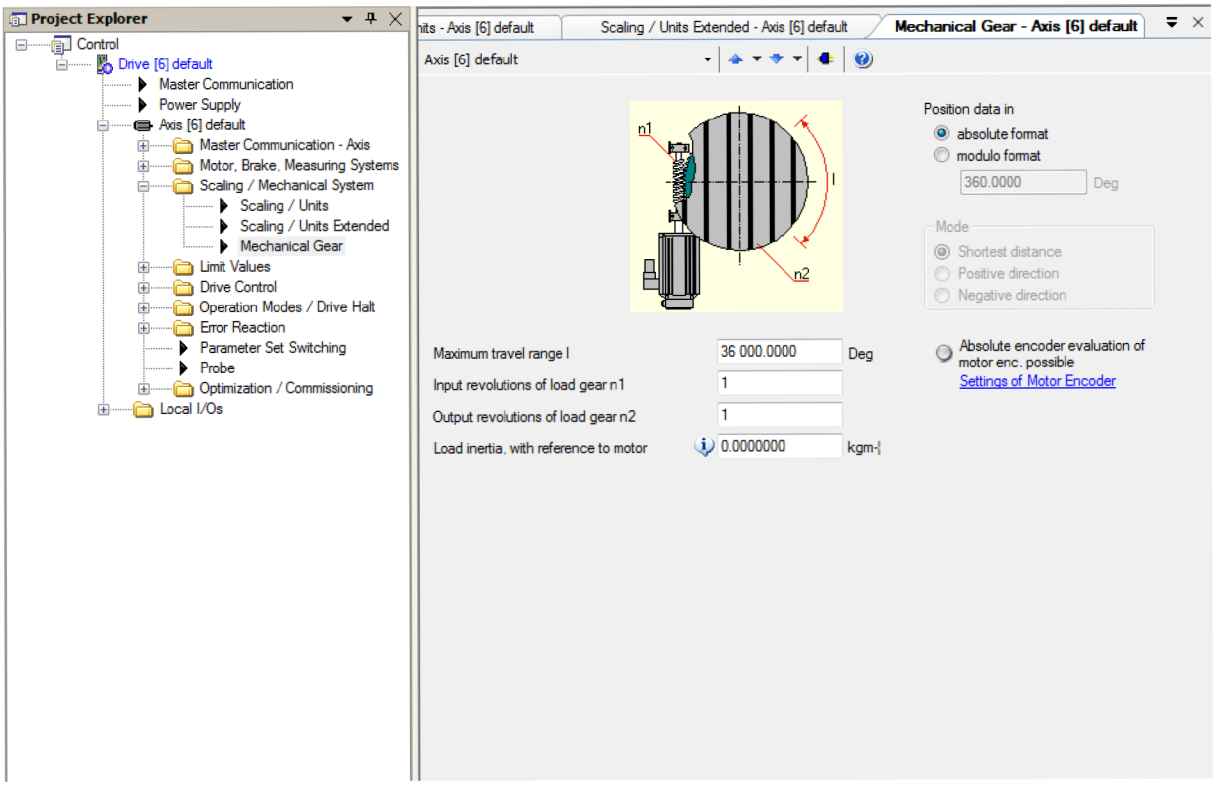
10.2 Převodové poměry robotu

Pro správné polohování jednotlivých os robotu je nutné znát a nastavit jednotlivé převodové poměry mezi motorem a osou robotu. Toto nastavení se provádí v programu DriveManager. Nejprve je potřeba znát typ převodu (rotační nebo lineární), k tomuto nastavení slouží maska **Scaling/Units**. Pro nastavení převodových poměrů jednotlivých os slouží maska **Mechanical Gear,** kterou zobrazíme následovně:

V kartě **Projekt Explorer** pod jednotlivými osami **Drive-> Axis-> Scaling / Mechanical System -> Scaling / Units** nebo **Mechanical Gear** . Masku zobrazení **Mechanical Gear** je vidět na obr. 39.

Maska **Scaling / Units** slouží k nastavení typu převodu, v tomto případě jsou všechny osy rotačního typu.

V masce **Mechanical Gear** jsou u rotačního převodu políčka pro nastavení následujících hodnot: **Maximum travel range [Deg]** slouží k určení rozsahu pohybu osy. **Input resolutions of load gear** a **Output resolutions of load gear** jsou hodny otáček hřídele motoru a výstupní hřídele, které dohromady tvoří převodový poměr. **Load inertia, with reference to motor [kgm]** slouží k určení zatížení s ohledem na motor. Převodové poměry jednotlivých os jsou vypsány v tab 11.



Obr. 39) Maska nastavení převodového poměru

Tab 11) Převodové poměry os robota KUKA KR15/2

Osa	Převodový poměr
A1	118,5
A2	118,5
A3	118,5
A4	85
A5	91
A6	61

Tyto hodnoty byly zjištěny od servisních techniků robotů KUKA. Jelikož se nepovedlo rozběhnout servomotory a nedošlo tedy ani k řízení pohonů robotu, nebyly tyto hodnoty převodového poměru otestovány a potvrzeny.

11 ZÁVĚR

Cílem této práce byla implementace řídicího systému KeMotion k robotu KUKA KR 15/2. Systém KeMotion poskytla firma Kesat, distributor firmy KEBA, která tento systém produkuje. Před samotnou prací v systému bylo nutné zprovoznit komunikaci celého řídicího systému. Po vytvoření komunikační sítě tvořené všemi prvky řídícího systému bylo možné zapojit i pohony robotu. Za pomoci softwarového balíku KEMRO pak byly v takto vytvořené síti spravovány veškeré parametry řídicího systému i samotného robotu.

Po zprovoznění komunikační sítě řídicího systému bylo potřeba k řídicímu systému připojit zpětnovazební smyčku, která obsahuje vedení resolveru a termistoru. Bylo vyhotovené nové propojení řídicí skříně a robotu s ohledem na rozdílné možnosti sytému KeMotion. Ten neobsahuje resolverovou kartu umožňující redukci vodičů zpětnovazební smyčky do jednoho kabelu. Proto byla původní resolverová karta odstraněna a nahrazena plošným spojem pro připojení šestice nových kabelů zpětnovazební smyčky v patě robotu KUKA. Ke komunikaci zpětnovazební smyčky mezi patou robotu a řídicí skříní slouží šestice datových kabelů zakončených odpovídajícími konektory.

Pro zajištění správného polohovaní servomotorů je nutné znát typ a parametry odměřování. U robotu KUKA KR 15/2 je odměřovaní servomotorů provedeno pomocí resolverů. V systému KeMotion je u resolveru vyžadována znalost počtu pólových dvojic. Na zjištění počtu pólových dvojic se použil osciloskop k měření výstupních napěťových amplitud při provedení jedné otáčky servomotoru.

Zprovoznění polohování pohonů a otestování dráhového řízení se nezdařilo z důvodu nerozběhnutí samotných servomotorů. A to i přes nastavení parametrů pohonů i robotu v systému řízení. Předpokladem pro fungování těchto starších servomotorů byla funkční zpětná vazba odměřování, termistoru a znalosti výkonových parametrů motorů (počet pólů, rozsah otáček, proudové charakteristiky, momenty). I když byly tyto předpoklady splněny, žádný servomotor se nepodařilo rozběnout, a to i přes veškerou podporu a dokumentaci firmy Kesat. Firma Kesat proto oslovila firmu KEBA, která má zdroje a znalosti k rozřešení daného problému. Výsledkem elektronické komunikace s touto firmou byla informace, že zprovoznění takto starých a jimi nepoužívaných servomotorů je natolik složité, že ani s jejich vzdálenou podporou vývoje v Linzi nebudeme schopni všechny parametry správně nastavit. Vzhledem ke složitosti parametrizace takovýchto pohonů je snaha se této činnosti vyhnout a raději se používají novější motory, kde pro zprovoznění stačí znát výkonové parametry motoru a parametry enkodéru, nebo moderní servomotory, které se parametrizují kompletně samy a není tak potřeba žádný zásah do nastavení k jejich rozběhnutí.

Po následné domluvě bylo s firmou Kesat dohodnuto, že z vývoje KEBA pošlou aplikačního inženýra, který by měl být schopen určit, zda pomocí tohoto systému KeMotion lze servomotory ovládat a případně zprovoznit. Do termínu odevzdání diplomové práce se ale firmě KEBA nepovedlo tohoto pracovníka na potřebnou dobu uvolnit vzhledem k časové náročnosti úkolu.

Přínosem této práce jsou poznatky ze zprovozňování původních servomotorů robotu KUKA KR 15/2 s pomocí řídicího systému KeMotion a to, že i přes jeho univerzálnost jsou takto staré servomotory těžko parametrizovatelné. Nestačí tak splnit původní předpoklad k jejich rozběhnutí, tedy nastavení počtu pólů, rozsahu otáček, proudových charakteristik a

momentů. Je nutné důkladně nastavit každý z řídicích parametrů: limity pohybu, momentů a sil, řízení osy, rychlost filtru řídicí smyčky, řízení a limity proudu, nastavení komunikace atd. S ohledem ke složitosti této parametrizace a časové náročnosti, pak v praxi stojí za zvážení kompletní výměna servomotorů

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] KEBA. Kemro Automation: 1st Level Support Training. Linz, 2013, 122 s. V1.03_en.

[2] KEBA. *KeMotion Automation system: System manual V2.60*. Linz, 2013, 242 s. V2.60 / article no.: 1006309.

[3] KEBA. *CP 242/B CPU module: Project engineering manual V1.00*. Linz, 2009, 40 s. V1.00 / article no.: 1003759.

[4] KEBA. *DM 276/A Digital Input/Output module: Project engineering manual V1.07*. Linz, 2011, 28 s. V1.07 / article no.: 1000462.

[5] KEBA. *KeMotion KeMotion general_en*. Linz, 2013, 109 s.

[6] KEBA. *KeMotion 3 general en*. Linz, 2013, 22 s.

[7] KEBA. *The automation solution for boosting robot and machine productivit*. Linz, 2017, 40 s.

[8] 3-phase AC drive / vertical / compact KeDrive D2 KEBA. *IndustrialMarket.co.uk* [online]. Dostupné z: http://www.industrialmarket.co.uk/3-phase-ac-drive-vertical-compact-kedrive-d2-KEBA/

[9] KEBA. *KeDrive D2 Drive Controller HCS01: Instruction Manual V1.00*. Linz, 2010,70 s. V1.00 / article no.: 1006030 / R911331120.

[10] KEBA. *KeDrive D2 Drive System HCS01: Project engineering manual V1.00*. Linz,2010, 220 s. V1.00 / article no.: 1006037.

[11] KEBA. *KeDrive Drive Training*. Linz, 2013, 37 s.

[12] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

[13] KEBA. *KeMotion Robotics Functions: Tutorial V2.60*. Linz, 2013, 42 s. V2.60 /article no.: 1005202.

[14] KEBA. *KeMotion Robotics technologies: Overview*. Linz, 2013, 48 s.

[15] Co se skrývá pod označením PLC ? | Automatizace.HW.cz. *Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. Copyright © 1997 [cit. 15.05.2017]. Dostupné z: http://automatizace.hw.cz/co-se-skryva-pod-oznacenim-plc

[16] Engineering Essentials: What Is a Programmable Logic Controller?. *Machine Design* [online]. Dostupné z: http://www.machinedesign.com/engineering-essentials/engineering-essentials-what-programmable-logic-controller

[17] KEBA. *KeTop Operation & Monitoring*. Linz, 2017, 36 s.

[18] Introduction to Sercos III with Industrial Ethernet. *Sercos Automation Bus :: Sercos North America* [online]. Dostupné z: http://www.sercos.com/technology/sercos3.htm

[19] KUKA KR 15 KRC1. *Industrial Robots for Sale at RobotWorx. New and Used Robots: Motoman, Fanuc, KUKA, ABB, and Others* [online]. Dostupné z: https://www.robots.com/KUKA/kr-15

[20] KUKA KR15 Used robot Kr15/2 KRC1 or KRC2 | Eurobots.net. *Used Robots, Used Industrial Robots - ABB, KUKA, Fanuc, Kawasaki, Staubli available - Eurobots* [online]. Copyright © Copyright 2016 [cit. 14.05.2017]. Dostupné z: https://www.eurobots.net/KUKA-robots-kr15-kr-15-2-p87-en.html

[21] KUKA. *Robots KR 6,15: Specification*. 36 s. 03.96.11..

[22] KUKA. *Robot KR 6,15: Description, Electrical Installations*. 10 s. 07.97.01.

[23] Encodery. *Domů - PohonnaTechnika.cz* [online]. Copyright © Pohonnatechnika.cz 2007 [cit. 12.05.2017]. Dostupné z: http://www.pohonnatechnika.cz/skola/encodery

[24] AMCI : Advanced Micro Controls Inc :: What is a Resolver?. *PLC Based Industrial Automation Controls | AMCI* [online]. Copyright © Advanced Micro Controls, Inc. [cit. 12.05.2017]. Dostupné z: https://www.amci.com/industrial-automation-resources/plc-automation-tutorials/what-resolver/

[25] Encodery. *Domů - PohonnaTechnika.cz* [online]. Copyright © Pohonnatechnika.cz 2007 [cit. 12.05.2017]. Dostupné z: http://www.pohonnatechnika.cz/skola/encodery

[26] A new option for motor-position feedback: Built-in resolver design. *Machine Design* [online]. Dostupné z: http://www.machinedesign.com/motorsdrives/new-option-motor-position-feedback-built-resolver-design

[27] 62 NOF, Shimon Y. *Handbook of industrial robotics*. 2nd ed. New York: John Wiley, c1999. ISBN 978-0-471-17783-8.

[28] TI cuts resolver-to-digital cost for servos. *Electronics Weekly: Design, Components, Tech & Business News* [online]. Copyright © 2017 [cit. 14.05.2017]. Dostupné z: https://www.electronicsweekly.com/market-sectors/embedded-systems/ti-cuts-resolver-digital-cost-servos-2014-05/

[29] KEB – Fail-safe brakes KEB COMBISTOP. *Automation with Drive* [online]. Dostupné z: https://www.keb.de/news/fail-safe-brakes-keb-combistop

[30] SIEMENS. *AC Servomotors 1FK6: Planning Guide* [online]. 2003 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: https://www.yumpu.com/en/document/view/6749172/planning-guide-ac-servomotors-1fk6-siemens-automation-and

[31] CODESYS: The benefits for end-users and device manufacturers. *CODESYS – industrial IEC 61131-3 PLC programming* [online]. Copyright © [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: https://www.codesys.com/the-system/why-codesys.html

[32] Programovací režimy pro PLC dle IEC 61131-3 (CoDeSys) | Automatizace.HW.cz. *Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. Copyright © 1997 [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://automatizace.hw.cz/programovaci-rezimy-pro-plc-dle-iec-611313-codesys

13 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

13.1 Seznam tabulek

TAB 1) PARAMETRY RUČNÍHO PANELU KETOP T55: [17] 28

TAB 2) PROGRAMOVACÍ REŽIMY A JAZYKY PRO PLC JEDNOTKU KECONTROL [31,32] 30

TAB 3) RYCHLOSTI A ROZSAHY JEDNOTLIVÝCH OS [21] 33

TAB 4) PARAMETRY JEDNOTLIVÝCH MOTORŮ ROBOTU [30] 34

TAB 5) ADRESY JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ V SÍTI 39

TAB 6) CESTA PRO NASTAVENÍ IP ADRESY FREKVENČNÍHO MĚNIČE 49

TAB 7) CESTA PRO NASTAVENÍ GATEWAY FREKVENČNÍHO MĚNIČE 49

TAB 8) CESTA PRO NASTAVENÍ NODE-ID FREKVENČNÍHO MĚNIČE 50

TAB 9) PŘIPOJENÍ JEDNOTLIVÝCH VODIČŮ ZPĚTNOVAZEBNÍ SMYČKY NA KONEKTOR 53

TAB 10) FUNKCE ZAPOJENÝCH PINŮ V CAN KONEKTORU [10] 60

TAB 11) PŘEVODOVÉ POMĚRY OS ROBOTA KUKA KR15/2.....67

13.2 Seznam obrázků

OBR. 1) SCHÉMA ZAPOJENÍ PRVKŮ SYSTÉMU KEMOTION [1].....19

OBR. 2) DIAGRAM SOFTWAROVÉHO BALÍKU SYSTÉMU KEMOTION [6] 20

OBR. 3) SCHÉMA SYSTÉMU KEMOTION [7] 21

OBR. 4) TYPY ROBOTŮ MOŽNÉ OVLÁDAT SYSTÉMEM KEMOTION (KARTÉZSKÉ, SCARA, DELTA, 6-OSÉ A DEFICITNÍ ROBOTY) [7] 21

OBR. 5) KECONTROL CP242/B [1].....24

OBR. 6) A) KOMUNIKAČNÍ I/O MODUL, B) MODUL MĚŘENÍ POLOHY, C) ANALOGOVÝ I/O MODUL [5].....25

OBR. 7) A) FREKVENČNÍ MĚNIČ KEDRIVE HCS01.1E-W0008, B) HCS01.1E-W0028 [8].....26

OBR. 8) RUČNÍ OVLÁDACÍ PANEL KETOP T55 [17] 28

OBR. 9) STACIONÁRNÍ OVLÁDACÍ PANEL KEVIEW [17].....29

OBR. 10) ZOBRAZENÉ PROSTŘEDÍ TEACHVIEW T55R.....31

OBR. 11) ZOBRAZENÍ JEDNOTLIVÝCH OS ROBOTU [20] 34

OBR. 12) DIAGRAM PRACOVNÍHO PROSTORU ROBOTU KUKA KR 15/2 [21].35

OBR. 13) VZOROVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU [2] 37

OBR. 14) A) ETHERNETOVÉ SECOS III [5], B) STÍNĚNÍ ITP [1].....38

OBR. 15) ZOBRAZENÍ CESTY KE KONFIGURACI OS 42
OBR. 16) NASTAVENÍ ROZMĚROVÝCH PARAMETRŮ ROBOTU 43
OBR. 17) PRINCIP MAGNETICKÉHO INKREMENTÁLNÍHO SNÍMAČE (RESOLVERU) A JEHO VÝSTUPNÍHO SIGNÁLU SE ZMĚNOU AMPLITUDY NAPĚTÍ U_1 A FÁZOVÉHO POSUNU A [27] 45
OBR. 18) PRŮBĚH NOSNÉHO SIGNÁLU PŘI OTÁČENÍ RESOLVERU NA JEDNOTLIVÝCH CÍVKÁCH A JEHO VÝSTUPNÍ ZPRACOVANÉ SIGNÁLY [25] 46
OBR. 19) GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ RESOLVERU A JEHO ČÁSTÍ: ROTOR SE ZUBY A STATOR S OSMI CÍVKAMI [26] 47
OBR. 20) DIAGRAM VÝSTUPNÍCH NAPĚTÍ V POSKYTNUTÝCH RESOLVEREM PŘI NATOČENÍ Φ [28] 48
OBR. 21) OVLÁDACÍ PANEL FREKVENČNÍHO MĚNIČE [10] 49
OBR. 22) NASTAVENÍ NODE-ID OSY V KESTUDIO 50
OBR. 23) CESTA PRO PŘIPOJENÍ DRIVEMANAGER PŘES ŘÍDICÍ JEDNOTKU TŘETÍ STRANY 51
OBR. 24) DIALOGOVÉ OKNO CONNECT TO TARGET S VYPLNĚNÝMI PARAMETRY 51
OBR. 25) KARTA PROJECT EXPLORER S JEDNÍM ZOBRAZENÝM POHONEM ŠESTÉ OSY 52
OBR. 26) ZOBRAZENÁ MASKA BRAKE 52
OBR. 27) SCHÉMA ZAPOJENÍ VODIČŮ ZPĚTNOVAZEBNÍ SMYČKY [22] 53
OBR. 28) FOTOGRAFIE ZAPOJENÍ VODIČŮ DO KONEKTORU 53
OBR. 29) VÝBĚR MOŽNÝCH TYPŮ ENKODÉRŮ 54
OBR. 30) MASKA MOTOR ENCODER PRO NASTAVENÍ ENKODÉRU 55
OBR. 31) FOTOGRAFIE RESOLVEROVÉ KARTY ROBOTU KUKA KR 15/2 57
OBR. 32) VYROBENÝ A OSAZENÝ PLOŠNÝ SPOJ 59
OBR. 33) SCHÉMA ZAPOJENÍ RESOLVERU NA CAN KONEKTOR [10] 60
OBR. 34) SCHÉMA BRZDY SERVOMOTORU, SMĚR SÍLY F1 ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE PŮSOBÍCÍ NA BRZDOVÝ KOTOUČ, SMĚR SÍLY F2 PŘÍTLAČNÝCH PRUŽIN NA BRZDOVÝ KOTOUČ [29] 61
OBR. 35) A) SCHÉMA ZAPOJENÍ NAPÁJENÍ MOTORU A BRZDY [22], B) SCHÉMA ZAPOJENÍ PINŮ V KONEKTORU NAPÁJENÍ [30] 62
OBR. 36) KONEKTOR X6 PRO PŘIPOJENÍ BRZDY A TERMISTORU [9] 63
OBR. 37) SCHÉMA ZAPOJENÍ BRZD 64
OBR. 38) TYP REFERENCOVÁNÍ V MASCE OSY (KESTUDIO) 66
OBR. 39) MASKA NASTAVENÍ PŘEVODOVÉHO POMĚRU 67

14 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 Technické parametry motoru Siemens 1FK6032 [30]

Příloha č.2 Schéma vedení kabeláže pohonů do paty robotu KUKA [22]

Příloha č.3 Fotografie průběhu měření pólů resolveru

Příloha č.4 Fotografie nahrazení resolverové karty v patě robotu

Příloha č.5 Fotografie připojení kabelů ke konektorům

Příloha č.6 Řídicí program PLC

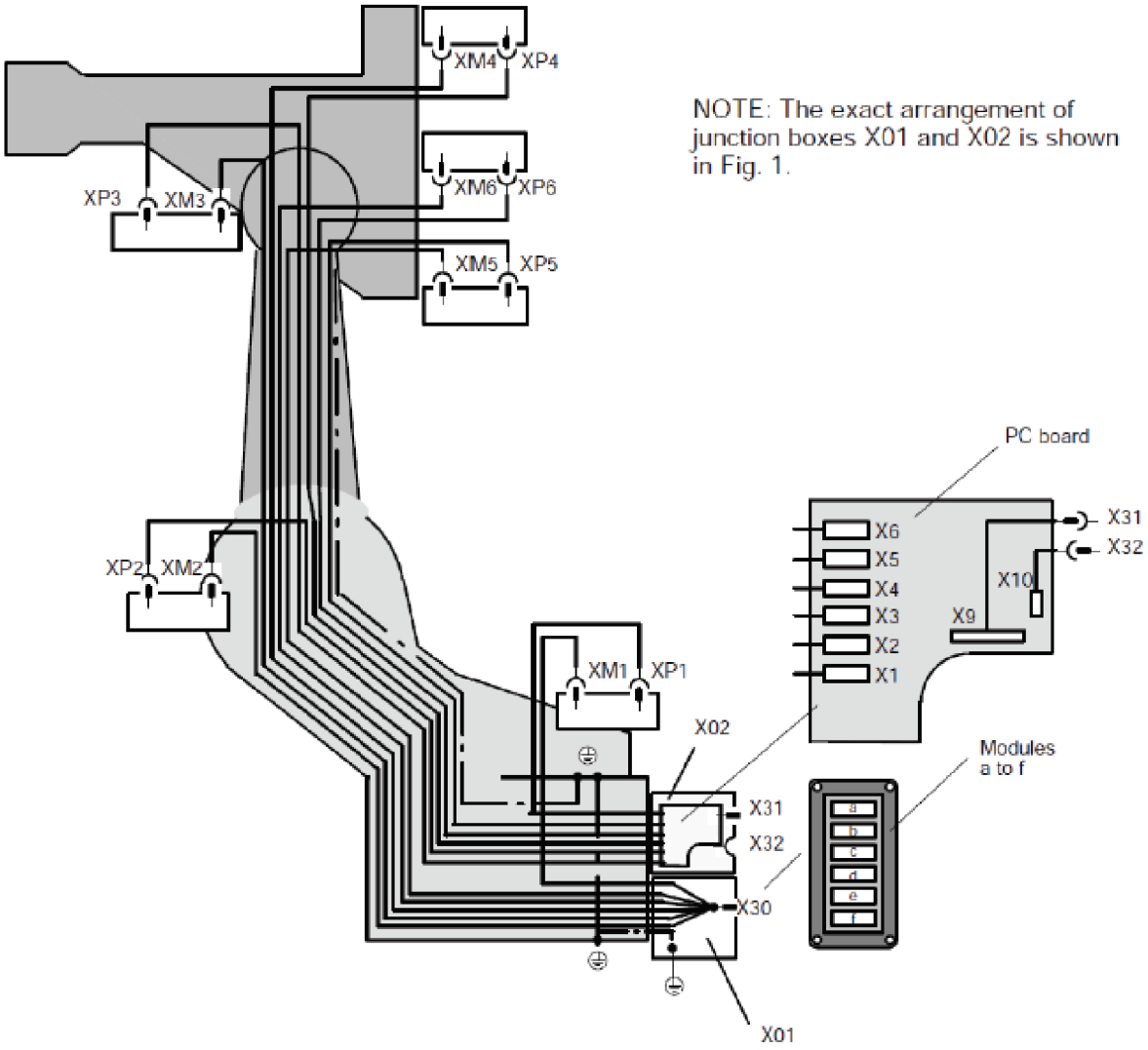
Příloha č.7 Konfigurační program pohonů

PŘÍLOHY

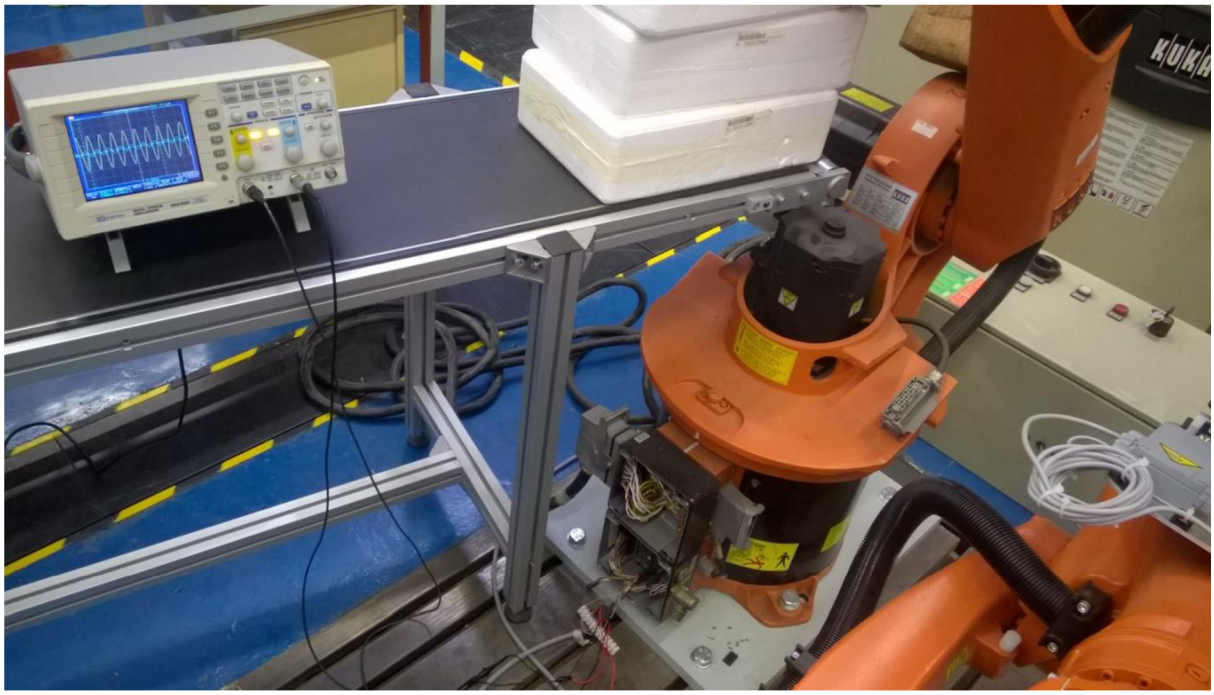
Příloha č.1 Technické parametry motoru Siemens 1FK6032 [30]

	1FK6032		
Technical data	Code	Units	–6AK71
Engineering data			
Rated speed	n_N	RPM	6000
Pole number	2p		6
Rated torque (100K)	$M_{N\ (100\ K)}$	Nm	0.8
Rated current	I_N	A	1.5
Standstill torque (60K)	$M_{0\ (60\ K)}$	Nm	0.9
Standstill torque (100K)	$M_{0\ (100\ K)}$	Nm	1.1
Standstill current (60K)	$I_{0\ (60\ K)}$	A	1.4
Standstill current (100K)	$I_{0\ (100\ K)}$	A	1.7
Moment of inertia (with brake)	J_{mot}	10^{-4} kgm^2	0.75
Moment of inertia (without brake)	J_{mot}	10^{-4} kgm^2	0.68
Optimum operating point			
Optimum speed	n_{opt}	RPM	6000
Optimum power	P_{opt}	kW	0.5
Limiting data			
Max. permissible speed (mech.)	n_{max}	RPM	12000
Maximum torque	M_{max}	Nm	4.5
Max. current	I_{max}	A	7.3
Physical constants			
Torque constant	k_T	Nm/A	0.67
Voltage constant	k_E	V/1000 RPM	44
Winding resistance at 20°C	$R_{ph.}$	Ohm	5.7
Rotating field inductance	L_D	mH	13
Electrical time constant	T_{el}	ms	2.3
Shaft torsional stiffness	c_t	Nm/rad	6270
Mechanical time constant	T_{mech}	ms	2.6
Thermal time constant	T_{th}	min	25
Weight (with brake)	m	kg	3.0
Weight (without brake)	m	kg	2.9

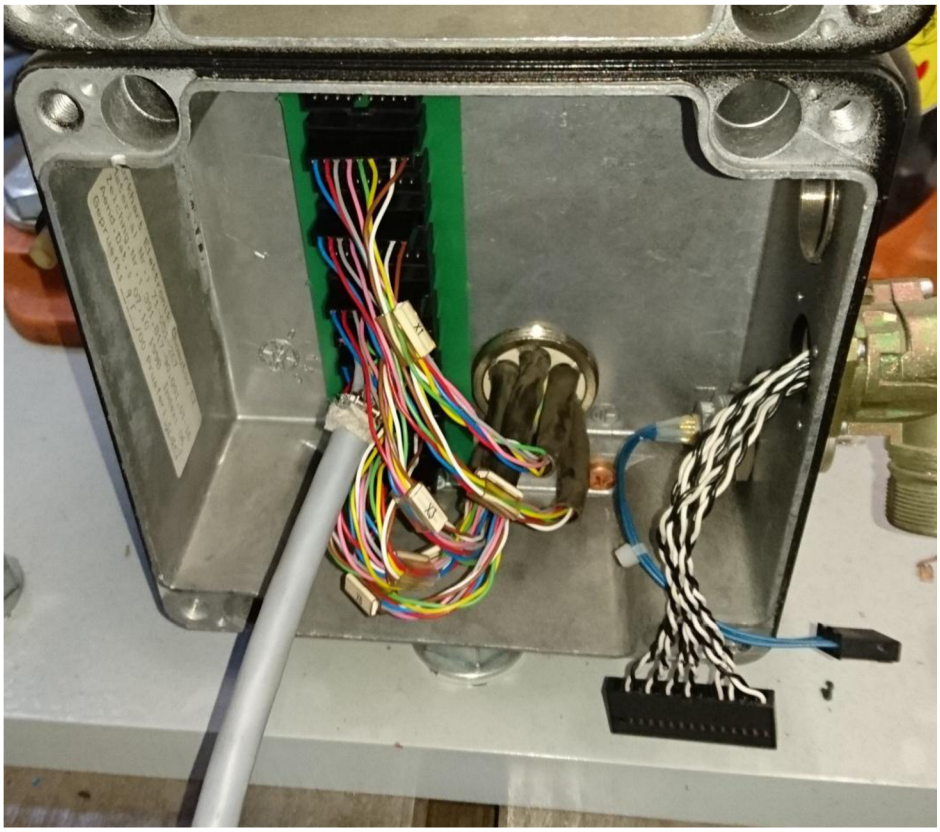
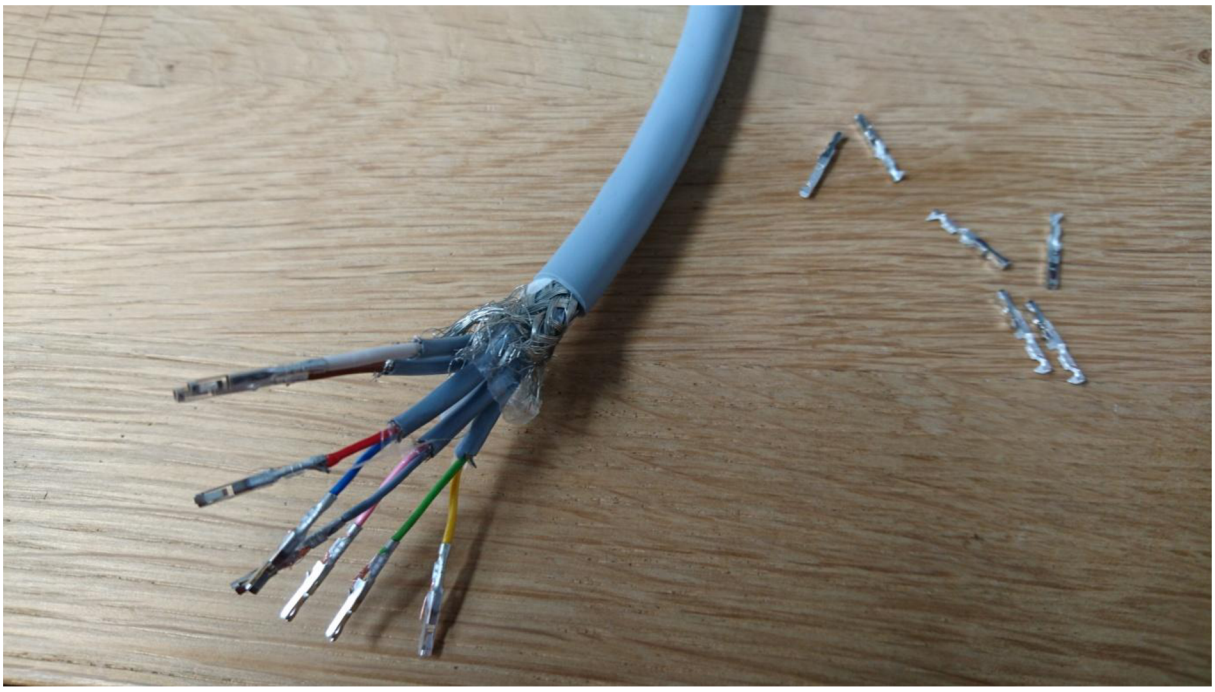
Příloha č.2 Schéma vedení kabeláže pohonů do paty robotu KUKA [22]



Příloha č.3 Fotografie průběhu měření pólů resolveru



Příloha č.4 Fotografie nahrazení resolverové karty v patě robotu



Příloha č.5 Fotografie připojení kabelů ke konektorům