

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Савремени обрадни системи

Број индекса: 486/2019

Никола Д. Миљковић

**Примена индустријског работа у
савременим обрадним системима**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Богдан Недић-ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



**Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука**



Мастер студије: **Машинско инжењерство**

Студијско подручје (усмерење): **Производно машинство**

Име и презиме: **Никола Миљковић**

Број индекса: **486/2019**

ПРИЈАВА МАСТЕР РАДА

Тема рада: **Примена индустријских робота у савременим обрадним системима**

Задатак: У оквиру мастер рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о примени индустријских робота у савременим обрадним системима. Потребно је извршити анализу процеса обраде уз примену индустријских робота и описати примере примене робота, елементе робота као обрадног система и њихово програмирање. У посебном делу рада извршити моделирање елемената робота за прихват алата за могућу апликацију.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Анализа процеса обраде роботом,
3. Примери примене индустријских робота,
4. Погонски системи, сензори и остали системи индустријског робота,
5. Програмирање индустријских робота,
6. Моделирање елемената робота за прихват алата,
7. Закључци,
8. Литература.

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 27.01.2021.

Резиме

Примена индустријских робота је све више присутна у савременим обрадним системима. У мастер рад у првом делу је приказана садашња могућност индустријских робота у савременим индустријским апликацијама. Тренд у индустрију је довео до увођења многих роботизованих стандардних система и процеса у монтажним и производним линијама. Њихова функција је приказана кроз анализу процеса у којима се користе, као што су обрада, монтажа, мерење, итд. У посебном делу рада, извршено је моделирање и приказан је дизајн техничког решења пете и шесте осе за прихват алата.

Кључне речи: робот, индустријска апликација, техничко решење.

Abstract

The application of industrial robots is increasingly present in modern machining systems. In the first part of the master's thesis, the current possibility of industrial robots in modern industrial applications is presented. The trend in the industry has led to the introduction of many robotic standard systems and processes in assembly and production lines. Their function is shown through the analysis of the processes in which they are used, such as processing, assembly, measurement, etc. In a special part of the paper, design of the technical solution of the fifth and sixth axes for tool acceptance is presented.

Key words: robots, industrial applications, technical solution.

Садржај

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	6
2. РОБОТ КАО ДЕО ОБРАДНОГ СИСТЕМ	8
2.1. Окружење робота	8
2.1.1. Ћелије са машинама распоређених око робота	8
2.1.2. Линијске ћелије.....	8
2.1.3. Ћелије са мобилним роботом	9
2.2. Радни простор робота	10
2.3.1. Минималана конфигурација робота	13
2.4. Управљање роботом	14
2.5. Програмирање робота	15
3. ИНДУСТРИЈСКА ПРИМЕНА РОБОТА	17
3.1. Роботи за палетирање	17
3.2. Роботи за брушење и полирање.....	18
3.3. Роботи за сечење	20
3.4. Роботи за руковање производима	21
3.5. Роботи за заваривање	21
3.6. Роботи за фарбање	23
4. ОСНОВНИ СИСТЕМИ КОД РОБОТА	25
4.1. Погонски систем	26
4.1.1. Пнеуматски погон.....	26
4.1.2. Хидраулични погон	27
4.1.3. Електрични погон.....	28
4.2. Управљачки систем	28
4.3. Ендефектори.....	29
4.4. Механички систем	30
4.5. Сензори	30
5. ПРОГРАМИРАЊЕ РОБОТА	31
5.1. Програмирање уређајем.....	31
5.2. Програмирање вођењем	34
5.3. Програмирање роботским језицима	36

6. СЕРВО МОТОРИ И ТАЛАСНИ РЕДУКТОРИ	38
6.1. Серво мотори	38
6.2. Таласни редуктори	39
7. МОДЕЛИРАЊЕ ПЕТЕ И ШЕСТЕ ОСЕ	41
8. ЗАКЉУЧАК	54
Литература	56

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Човечанство се налази на прагу пете индустријске револуције услед експанзије знања и технологија, а поготову у области роботизације производње. У OXFORD речнику реч робот се тумачи као: "Човеколики аутомат, послушан и интелигентан али безлична машина". У WEBSTER речнику то је: "Аутоматизован уређај који обавља функције које су обично намењене човеку." Данас се роботи примењују у многим областима индустрије да замене човека тешким, опасним и монотоним пословима, за рад у неприступачним срединама, медицинским потребама, војним потребама и у сектору услуга (банке, домаћинства, итд.).

Роботика је мултидисциплинарна и интердисциплинарна наука и технологија која се бави истраживањем, развојем, пројектовањем и применом робота. То је нова област која обухвата примењене инжињерске науке (машинство, производно машинство, електротехника, електроника), компјутерске науке као и математику и механику.

Област роботике и њена примена доживљавају последњих година веома буран развој тако да се данас може закључити да су роботи постали нераздвојни део савремене индустријске аутоматизације. Њихов развој започет је 1954. године. Први робот произведен је 1960. а 1985. у Сједињеним Америчким Државама радило је већ око 16.000 индустријских робота. Анализе увођења робота показале су да роботи увећавају продуктивност за преко 2000%.

Индустријски робот је аутоматски управљана вишенаменска манипулациона машина са више степени слободе, која може бити фиксирана или покретна, а користи се за различите задатке у индустрији. Идеални су за послове који се сматрају тешким и непогодним за људе. Користе се за послове који се понављају више пута и као такви се сматрају монотоним. У оним процесима где се тражи висок квалитет и велика продуктивност такође се користе индустријски роботи.

Систем односно окружење робота се назива ћелија са роботом, која може бити са машинама распорођеним око робота, линијска ћелија или ћелија са мобилним роботом. Скуп тачака који индустријски робот у свој ћелији може да дохвати представља манипулациони простор. Изван њега се не може извршавати задатак. Конфигурација робота зависи од комбинације ротацијских и транслацијских зглобова. Улогу управљачке јединице робота система врши компјутер који омогућује заједнички рад механичког, енергетског и сензорског система.

Индустријска примена робота се јавља као неопходан саставни део неке линије или као прикључење већ постојеће. Једна од највећих предности им је висока адаптивност једног истог робота приликом коришћење у најразличитијим задацима. Коришћење видимо у палетирању, брушењу, сечењу, манипулацији, заваривању и фарбању.

Опрему индустријског робота чини сложен систем међусобно повезаних интерактивних система. Главне компоненте су погонски систем, управљачки систем, ендефектори, механички систем и сензори. Ендефектори представљају последњи елемент кинематског ланца. Најчешће су јединственог дизајна, посебно произведени за дату апликацију.

Програмирање индустријског робота представља комплексан задатак приликом дефинисања акције које је потребно да уређај одради како би извршио радњу. У зависности од проблематике на располагању су више различитих приступа. Програмирање уређајем, вођењем и програмирање роботским језицима. Потребно је напоменути да се не искључује и коришћење 2 типа истовремено. Нпр. програмирање програмским језиком како би се симулирало кретења у виртуалном простору и касније ручно уношење кода у робота.

Компоненте као што су серво мотори и таласни редуктори, представљају механички најодговорније компоненте хардвера робота. Серво мотори користе због погодних режима рада. Робот се приликом рада може наћи у ситуацији великих брзина ходова, наглог заустављања и задржавања. Због овога и габарита, серво је најчешћи погон прозвођача индустријских робота. Таласни редуктори такође морају да одговоре на тражене мале уградбене мере, али велике преносне односе.

У раду је приказано моделирано решење крајњих оса једног типичног шестоосног робота. По својој функцији дизајн је мора је да задовољи мале габарите елемената, али ригидно конструисање. Постигнуто је одабиром праве опреме уз обраћање пажње на технологичност машинске израде, монтаже као и сервиса.

2. РОБОТ КАО ДЕО ОБРАДНОГ СИСТЕМ

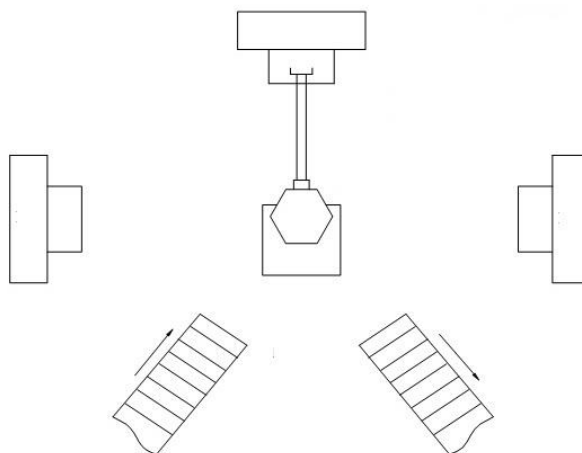
2.1. Окружење робота

У општем случају индустријски роботи се налазе у технолошком окружењу, као што су компјутери, производне машине и прибори. Индустријски робот и опрема око њега чине ћелију са роботом (или само ћелију). Термин радна станица са роботом такође може бити одговарајући, али се може односити и на радно место на линији са више робота [1].

Ћелије робота се могу класификовати у 3 групе: ћелије са машинама распоређеним око робота, линијске ћелије и ћелије са мобилним роботом.

2.1.1. Ћелије са машинама распоређених око робота

Робот је лоциран приближно у центру дела круга око кога су распоређене машине и опрема. Најједноставнији случај је када робот опслужује једну машину или изводи једну операцију. Код машина са джим циклусним временом, као што је машина за ливење под притиском, робот може опслуживати и више машина. Такође, ћелије за заваривање са индустријским роботом спадају у овај тип при чему сам робот изводи операције. Код овако организованих ћелија мора бити обезбеђено довођење и одвођење делова.



Слика 1. Пример ћелије са машинама распоређених око робота [1]

2.1.2. Линијске ћелије

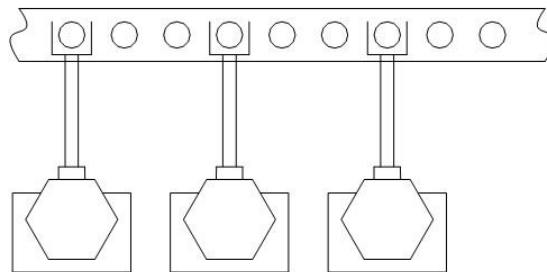
Код ових ћелија робот је лоциран поред покретне траке (конвејера) и извршава задатак, обично док је део на самом конвејеру. Обично овакве ћелије укључују више

робота. Типичан пример је линија за монтажу каросерије аутомобила, где роботи изводе тачкасто заваривање. Овде разликујемо 3 врсте транспорта: прекидни (синхронизовани), континуални и несинхронизовани.

Код прекидног транспорта, транспортни систем се зауставља код сваке радне станице. Робот је непокретан и чини једну радну станицу. При томе, делови су регистровани и увек у фиксној позицији и оријентацији. Такт линије одговара најдужем циклусном времену радних станица.

Код континуалног транспорта делови се крећу константном брзином и њихова позиција, а понекад и оријентација, се мењају у току времена у односу на неки фиксни координатни систем. При овоме су могућа два случаја. У првом, робот се, на неки начин (шинама и сл.) креће паралелно са конвејером и изводи операцију на делу који је у покрету. Овај начин поскупљује цео систем (додатне осе, већа површина хале). Други начин је да робот својом кинематиком и управљањем прати део на конвејеру и извршава задате информације. При овоме се мора обезбедити довољан простор праћења (tracking window) и одговарајући сензорски систем који треба да обезбеди идентификацију различитих делова, регистровања уласка и изласка из простора праћења и регистровање самог понашања у простору праћења.

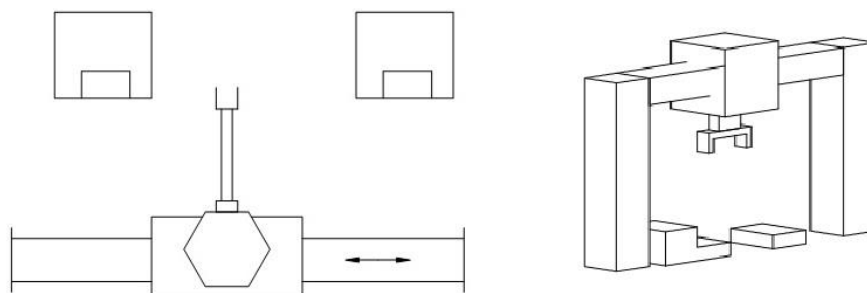
Код несинхронизованог транспорта делови се налазе на посебним палетама и крећу се независно на транспортном систему. При наиласку на слободну радну станицу, транспортни систем се зауставља. Део затим одлази на обраду. Истовремено трака наставља кретање, а на празно место се убацује део код којег је обрада већ завршена. По завршеној обради, део се поново враћа на транспортни систем који га носи до следеће станице.



Слика 2. Пример линијске ћелије [1]

2.1.3. Ћелије са мобилним роботом

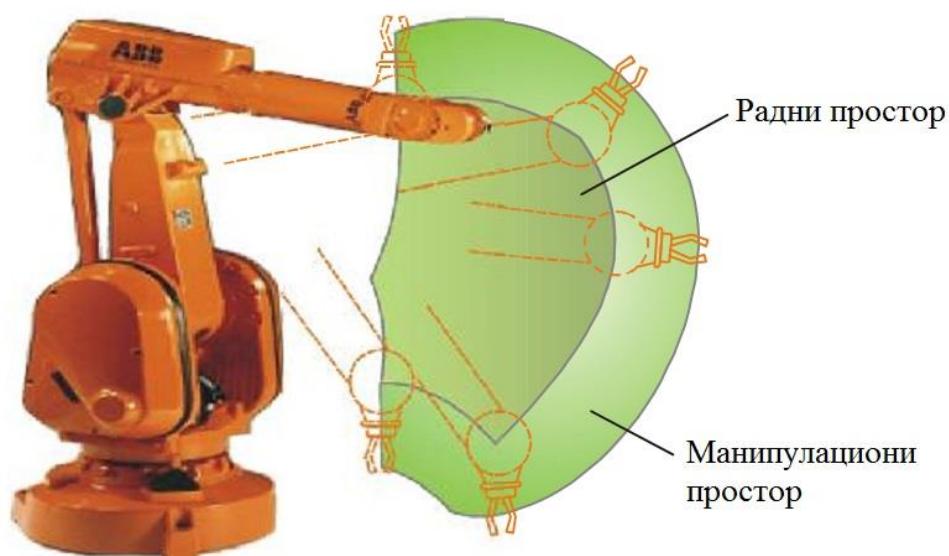
Робот се додатним мобилним осама или робоколицима креће од машине до машине. Обично је реч о машинама са дужим циклусним временом или о деловима (радним предметима) јако великих димензија. Висећи начин инсталисања је погоднији због мањег заузимања простора, али је скупљи.



Слика 3. Пример ћелије са мобилним роботом [1]

2.2. Радни простор робота

На основу дефиниције минималне конфигурације робота могуће је одредити и његов манипулациони простор. Манипулациони простор је скуп тачака у који робот може довести прихватницу (центар прихвата, врх алата и друго), односно обавити радни задатак (слика 4.). Изван манипулационог простора робот не може обављати задате задатке [2].



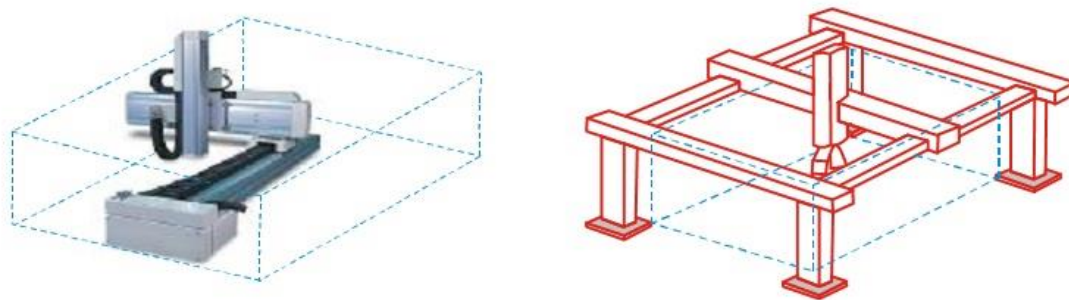
Слика 4. Радни и манипулациони простор робота [2]

Радни простор чине само оне тачке манипулационог простора које робот може достићи уз произвољну оријентацију. Односно радни простор је простор у којем је могућ захват из свих смерова, док у преосталом манипулационом простору је могуће извести захват само под одређеним углом. Радни и манипулациони простор су одређени кинематском структуром и геометријом кинематских парова робота, те ограничењем постављеним на поједине степене слободе кретања појединог зглоба. То значи да ће о типу и броју зглобова, затим дужини чланака, постојећим физичким ограничењима, а која су непосредно повезана с конкретном грађом и изгледом робота, зависити и величина радног простора.

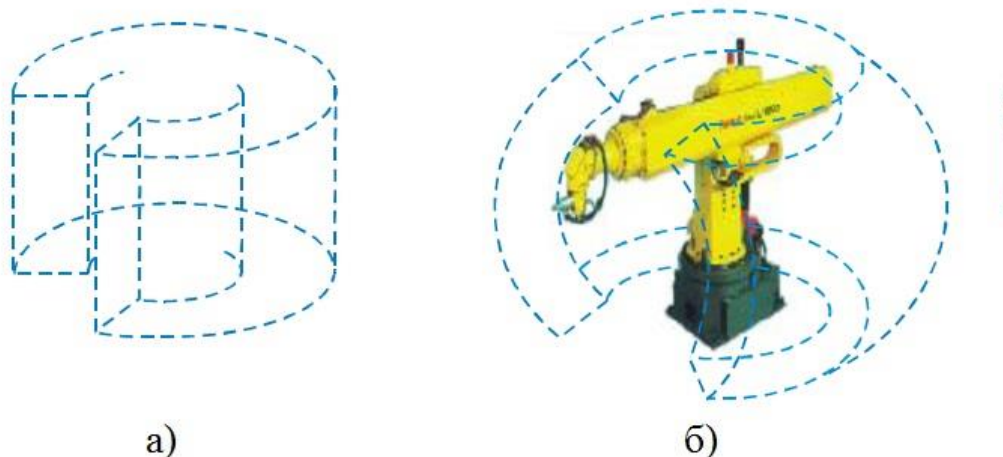
Комбинацијом ротацијских (Р) и транслацијских (Т) зглобова за прве три осе одређују се и следеће конфигурације робота:

- Правоугаони или ТТТ
- Цилиндрични или РТТ
- Сферни или РРТ
- Ротацијски или РРР
- Робот типа SCARA – РТР, ТРР или РРТ структуре

На слици 5. приказана су два типа робота (конзолни и портални) са правоугаоном конфигурацијом или ТТТ, код ког је радни простор у облику призме. Ако се први зглоб код правоугаоне конфигурације робота замени ротацијским зглобом, тада се добија робот цилиндричне конфигурације (РТТ), на слици 6.а. Роботи овакве конфигурације се користе за опслуживање алатних машина. Замени ли се други зглоб цилиндричне конфигурације робота са ротацијским зглобом добија се робот сфернеконфигурације (РРТ), приказан на слици 6.б. Роботи овакве структуре имају велику флексибилност у приступу одређеној локацији и примењују се за тачкасто заваривање и за опслуживање.



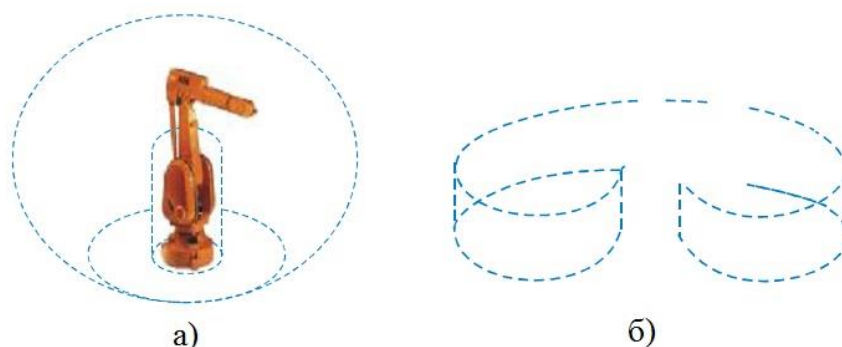
Слика 5. Приказ манипулационог простора руке робота ТТТ [2]



Слика 6. Приказ манипулационог простора: а) РТТ б) РРТ конфигурације [2]

На слици 7.а је приказ робота ротацијске конфигурације (РРР) код које су сва три зглоба ротациона. Ова конфигурација се још назива револутна, лактаста, антропоморфна или зглобна. Код ове врсте робота радни простор је кугла. Робот типа SCARA (Selected Compliance Assembly Robot Arm) има особине зглобних и

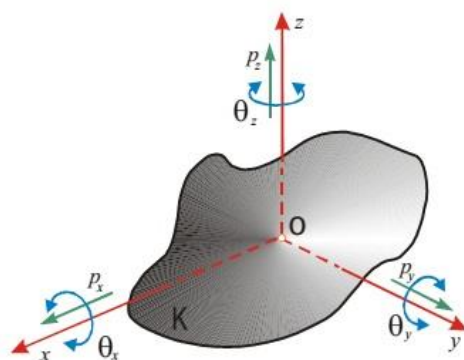
цилиндричних робота, ознака његове структуре је PPP-P и све ротације му се налазе у хоризонталној равни 7.б)



Слика 7. Приказ манипулационог простора: а) PPP б) PPP-P конфигурације [2]

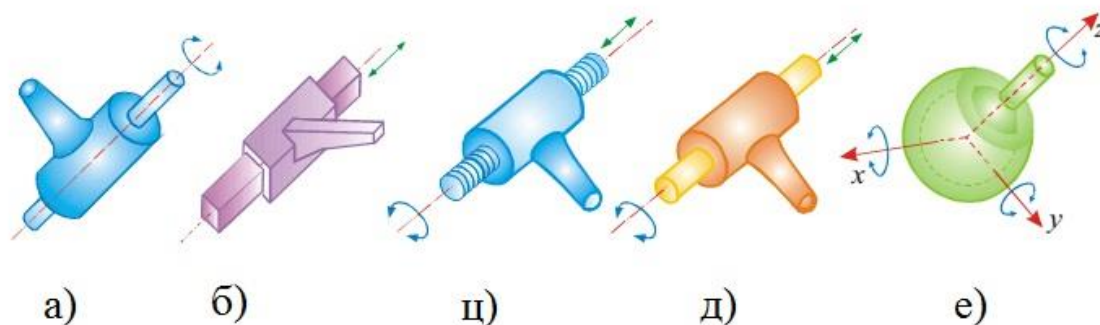
2.3. Кинематска структура

Кинематска одређеност робота подразумева одређеност позиције и оријентације прихватнице у односу на предмете у радном простору робота (манипулатора), као и у односу на неки непомични референтни координатни систем. Положај робота је одређен релативним угловним закретањем односно релативним транслаторним померањем у зглобовима робота. Да би робот обавио исправно радни задатак, у сваком тренутку мора бити одређена позиција и оријентација хватаљке у простору. Положај тела у простору одређен је са шест независних параметара, три транслације и три ротације, тако да има 6 степени слободе кретања. Другим речима, оно се може кретати на шест различитих, независних начина: транслаторно за величину P_x , P_y , P_z дуж оса x , y , z чиме је могуће постићи позиционирање тачке тела у простору и ротационо око све три осе за вредност углова q_x , q_y , q_z , како је приказано на слици 8.



Слика 8. Кретање тела у простору [2]

Ако се међусобно повежу два тела, од којих је барем једно покретно, тад настаје зглоб, односно кинематски пар. Настајањем зглоба долази до смањења могућности кретања, па је и степен слободе кретања мањи тј. $f < 6$. Постоје различите конструкције зглобова, а неколико простијих је приказано на слици 9.



Слика 9. Врсте зглобова: а) ротациони, б) транслаторни, ц) вијчasti, д) ваљкасти, е) кугласти [2]

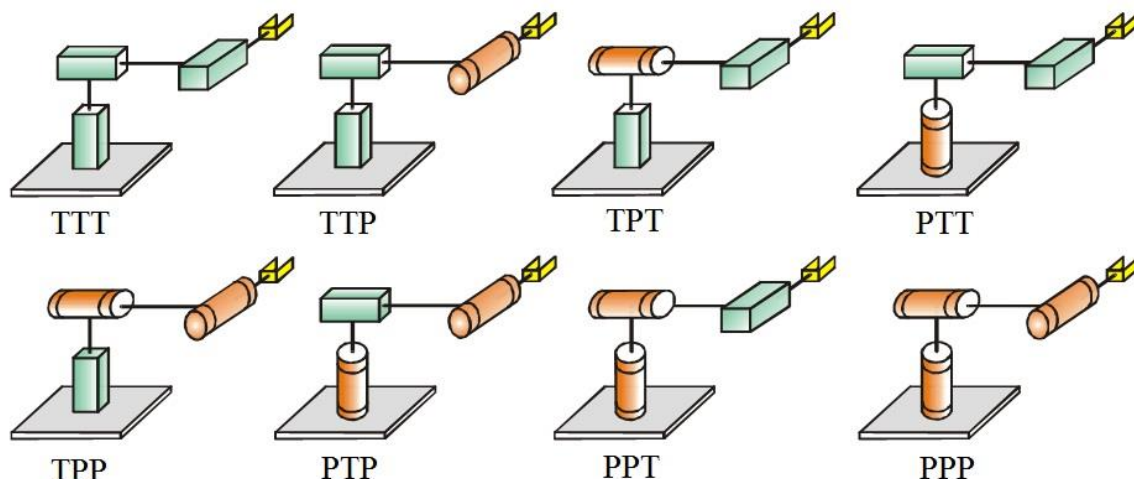
На слици су приказани зглобови са различитим степенима слободе кретања и то:

- ротациони зглоб који има релативно обртање само око једне осе и његов степен слободе кретања је $f=1$
- транслаторни зглоб има релативно померање дуж једне осе и код њега је $f=1$
- вијчasti зглоб има везано обртање око осе и транслацију дуж исте осе, што значи да је кретање зглоба хеликоидално (у облику завојнице) и да му је $f=1$
- ваљкасти зглоб, код којег постоји обртање и транслаторно померање цилиндра унутар шупљег цилиндра, при чему је $f=2$
- кугласти зглоб има три степена слободе кретања $f=3$, јер су могућа три независна релативна обртања кугле унутар шупље кугле.

2.3.1. Минималана конфигурација робота

Да би један робот био у употреби, он мора имати барем могућност позиционирања у простору. То значи да треба да се састоји од три зглоба, односно да има три степена слободе кретања. Таква структура се назива *"минимална конфигурација робота"*. На овакву минималну конфигурацију се надовезује завршни уређај.

Минимална конфигурација се често дефинише као механизам са три степена слободе кретања који врши позиционирање тј. довођење шаке на жељено место у радном простору, па се може рећи да минимална конфигурација дефинише позицију корена шаке који представља место њеног прикључка. Нормално, ова минимална конфигурација робота може се састојати од било које комбинације зглобова (транслаторни или ротациони). На слици 10. су приказане могуће кинематске структуре минималних конфигурација робота.



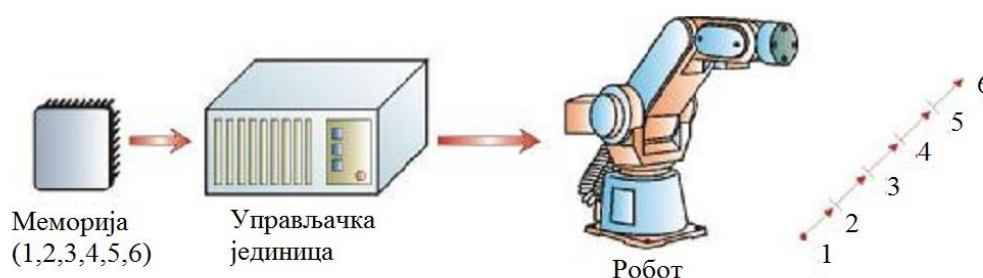
Слика 10. Могуће кинематске структуре минималних конфигурација робота [2]

2.4. Управљање роботом

Како би роботски систем, опремљен сензорима и покретачким јединицама, могао остварити жељено кретање са крајњим циљем извршења постављеног задатка, потребно је управљачко деловање. Једна од особина робота јесте флексибилност, односно могућност брзог прилагођавања новим задацима. Ова особина робота је омогућена захваљујући управљању компјутером чији се програм релативно лако мења. Једна од функција управљачког система јесте да омогући успешну примену робота на различитим задацима [2].

Улогу управљачке јединице роботског система врши компјутер. Компјутер је "мозак" роботског система. Он омогућује да робот – спој механичког, енергетског и сензорског система делује. Задатак управљачке јединице, у најједноставнијем случају када је потребно позиционирати прихватницу у одређену тачку манипулацијског простора, састоји се у израчунавању компоненти вектора унутрашњих координата, односно решавању инверзне кинематике и генерисању управљачких сигнала који делују на зглобове ради извођења жељеног кретања.

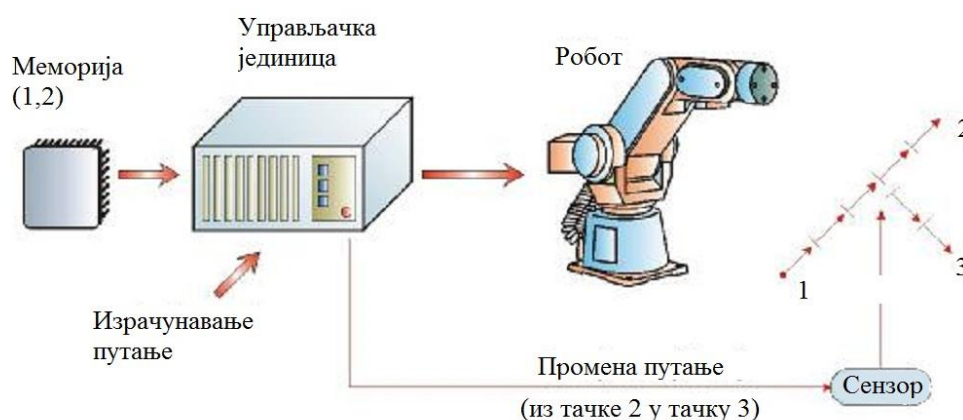
Уколико се сва потребна израчунавања обаве пре покретања, робот ради у *off-line*. У управљачкој јединици роботског система уписује се путања прихватнице дефинисана низом тачака које се на њој налазе, односно износима управљаних координата за одређене тачке путања. При извођењу роботског програма и кретању робота нису могућа никаква израчунавања. Управо због тога, роботи са оваквим начином рада не могу реаговати на промену у околини, за тако нешто потребни су сензори. На слици 11. приказан је *off-line* начин рада робота код којег се прихватница креће по правој линији, дефинисана тачкама 1-6. Путања је унапред одређена тачкама од 1 до 6, прихватница се креће од тачке 1 до 2, затим од 2 до 3, итд., па све до тачке 6, формирајући жељену путању.



Слика 11. Off– line управљање роботом [2]

Уколико се сва потребна израчунавања обављају у току рада робота, за робот се каже да ради у реалном времену или у *on-line*. Током деловања робота, његова управљачка јединица мора, за наставак кретања, израчунавати координате следеће тачке дуж жељене путање. Информације добијене од сензора о променама насталим у окружењу морају се обрадити током кретања робота у реалном времену.

На слици 12. показан је *on-line* начин рада робота, где је кретање у предвиђену тачку 2, замењено кретањем у тачку 3. Управљачка јединица чита из меморије координате тачака 1 и 2, затим израчунава координате потребних међутачака које формирају праволинијску путању. Уколико управљачка јединица прими са сензора инструкцију о промени циљне тачке 2 у тачку 3, она може извршити израчунавање координата нових међутачака, како би прихватница наставила кретање по праволинијској путањи у нову циљну тачку 3.



Слика 13. On– line управљање роботом [2]

2.5. Програмирање робота

Из саме дефиниције индустријског робота као универзалне, вишефункционалне, програмабилне машине за извршавање различитих задатака у индустрији, видимо да је програмабилност једна од основних карактеристика. Програмабилност или могућност репрограмирања значи да се програмирана кретања и помоћне функције могу мењати без физичке промене односно интервенције на самом роботу. Вез обзира на врсту програмирања програм мора да обезбеди роботу следеће информације [1]:

- Координате битних тачака а то су крајње тачке у коју прихватница мора да дође, међутачке кроз које прихватница мора да прође да би избегла препреке и судар и референтне тачке које одређују путању кроз коју прихватница пролази под одређеним условима
- Статус прихватнице у тим тачкама (отворено, затворено...)
- Брзине за свако кретање
- Редослед и могућа извршавања операција

Методe програмирања можемо поделити у 2 групе:

- Методe обучавањем
 - Обучавање вођењем
 - Обучавање уређајем
- Програмски језици

Обучавањем помоћу уређаја је једноставан и најчешће коришћени начин управљања. Обучавање се врши покретањем прихватнице док врх не заузме одређену (жељену) позицију и оријентацију који се меморишу. Ово померање прихватнице изводи оператор одговарајућом тастатуром и/или палицама на самом уређају за обучавање које држи у руци да би изблиза могао да прати остваривање жељене позиције и оријентације.

Обучавање вођењем се највише примењује тамо где су потребна континуална кретања као при бојењу или електролучном заваривању. При овоме оператор директно води прихватницу по жељеним путањама при чему се симултано меморишу позиције свих оса у одређеном временском тренутку. При репродуковању кретања се репродукују жељене путање.

Програмски језици се користе у неким индустријама и технологијама као што су аутомобилска и авиоиндустрија, где је потребно програмирати на стотине и хиљаде тачака уз задржавање целе линије програмирање, где обучавањем није повољно. С обзиром да сви подаци (координате) тачака већ постоје на цртежима или геометријском моделу логично је користити текстуалне језике.

3. ИНДУСТРИЈСКА ПРИМЕНА РОБОТА

Увођење робота у индустрију може се посматрати на два начина. Са једне стране роботи се појављују као неопходни саставни елеменат нових производних линија које се пројектују као високо аутоматизоване и често са особинама флексибилности. Тада је тешко посматрати робот и његов учинак изван целине флексибилне производне линије. С друге стране, роботи се често укључују у постојеће производне погоне. У таквим случајевима роботи битно повећавају учинак постојеће опреме. Тако, "старе" машине постају економичније што смањује или одлаже потребу за новим, већим инвестицијама. Свакако, и набавка робота је инвестиција али се показало да је набавка робота знатно економичнија од набавке нових машина [3].

Предност индустријских робота лежи у томе што у принципу представљају једноставан део опреме и при томе карактеришу се високом адаптивностју. Индустријски роботи са 6 степени слободе су уједно и најфлексибилнији тип робота и могу се користити на многе начине. Једна од подела робота према намени је на:

- Роботи за палетирање
- Роботи за брушење и полирање
- Роботи за сечење
- Роботи за руковање производима
- Роботи за заваривање
- Роботи за фарбање

3.1. Роботи за палетирање

Коришћење палета у индустрији је веома заступљена због предности везаних за транспорт и складиштење. Под палетизацијом се подразумева узимање делова са машина, конвејера и сл. и одлагање на палету. Код депалетизације је обрнуто. За ове задатке робот мора да има висок ниво програмирања због променљиве позиције у простору. Ови задаци поред делова обухватају кутије, палете и разна специјална паковања [1].

При палетирању робот (слика 14.) преузима производ, са транспортера или са покретне траке користећи метод праћења или преузима производ са фиксне тачке што изискује додатну прецизност у позиционирању производа. Затим при узимању предмета преносиће на палету или неку другу локацију док простор за паковање не буде попуњен. Попуњена палета се помера помоћу новог транспортера на дефинисану локацију док робот наставља палетирање, или у одсуству транспортера налази нову радну ћелију на којој наставља свој прописани задатак. Роботи специјализовани за

овај посао не морају да имају 6 степени слободе већ је 4-5 сасвим довољно, што доприноси једноставности дизајна али и цени самог робота.



Слика 14. Робот за палетирање [5]

3.2. Роботи за брушење и полирање

Брушење је процес обраде резањем код кога се слој материјала скида у виду ситних опилјака брусним материјалом. Често се брушење користи ради уклањања неправилности или чишћења површина. Брушење се може извршити на два различита начина. У једном случају робот носи уређај за брушење и помера га тако да обезбеди брушење предвиђених површина. Овај приступ је нужан када се ради о радним предметима већих димензија или тежина (слика 15.).



Слика 15. Робот за брушење [6]

У другачијем приступу робот хвата радни предмет и приноси га машини тј. уређају за брушење који је фиксиран. Ово је могуће када предмети нису велики, а посебно је погодно када предмет захтева обраду на више машина (нпр. резање, брушење и бушење). Тада се машине групишу око робота и добија се производна ћелија у којој се завршава читав низ обрада.

Полирање је поступак аналоган брушењу с тим што је точак за полирање направљен од материјала који уклања само ситне неравнине на предмету, дакле, глача га. Са становишта геометрије робота (слика 16.), задаци брушења захтевају 6 степени слободе, а са становишта управљања, главни проблеми јављају се у праћењу сложене континуалне путање и остваривању захтеване силе притиска на површину која се брус.



Слика 16. Робот за полирање [7]

3.3. Роботи за сечење

Индустријски роботи су савршени алати за многе послове сечења, слика 17. Ласерски, плазма, и са воденим хлађењем секачи су углавном заступљени у овој области. С обзиром на саму природу посла која је опасна, ове технологије су изабране као погодне за примену. Алат за сечење је углавном постављен као завршни уређај коме се предмет за обраду приноси помоћу траспортера, покретне траке или додатног манипулатора. Друга опција је да робот држи део за обраду и помера га док је алат за обраду фиксиран. Робот може садржати неколико стотина шема за сечење које се могу активирати изузетно лако помоћу активирања контролера. Изузетна прецизност и могућности праћења путање дају прецизне резултате у току времена, у три димензије и са много већом фелксбилношћу него било која машина за сечење.



Слика 17. Робот за плазма сечење [8]

Обрада резањем је данас један од најтежих задатака за роботе због следећих проблема [1]:

- Велике и променљиве силе у процесу резања су веома неповољне за лаку и витку структуру робота
- Потребно је управљање променљивим силама и моментима који се јављају у процесу резања
- Потребно је остварити сложене трајекторије и потребна је висока тачност позиционирања

Ендефектор је обрадна јединица са обртним вретеном у које се поставља одговарајући алат или вишевретена глава због брже измене алата. Погон обртних јединица је пнеуматски (турбински) или електрични. Данас се успешно обављају следећи задаци: бушење, упуштање, развртање, па и резање навоја, брушење, глодање, полирање... Нарочито велика погодност примене робота је за бушење рупа на сложеним 3Д површинама. Типичан пример примене је авио индустрија где се на крилима и трупу при постављању оплате ради о бушењу и до неколико хиљада рупа.

3.4. Роботи за руковање производима

Услед достигнућа на пољу технологије, развијени су роботи за руковање производима. Поред брзине и прецизности красе их и особине окретности и велике осетљивости. Сходно томе могу се користити у разним областима индустрије за манипулацију обиљем производа почев од врата аутомобила, преко јаја, до флашираних производа. Типични робот за обављање ове функције може да рукује теретом до 120 кг брзинама до 2500 мм/с. Сензорски системи укључују између осталог и визуелне системе. Хватаљке су у доступне у великом броју зависно од типа и намене или пак тежине којом је потребно манипулирати. Прихватне јединице су доступне било као пнеуматичке или електромеханичке у великом опсегу. Такође постоје електромагнетне и вакумске хватаљке, за наменске производе. Руковање покрива широк спектар апликација. Пример можемо размотрити у прехранбеној индустрији за послове узимања чоколада са покретног транспортера и њихово постављање у кутије на датим позицијама при брзинама од чак 150 хватања у минути. Одлични су за рад са машинама за калуповање, ЦНЦ дробилице и стругове, пресе, итд. Управљањем ових процеса помоћу робота се побољшава ефикасност машина које сада већ могу радити даноноћно са истом ефикасношћу не зависећи од људског фактора.



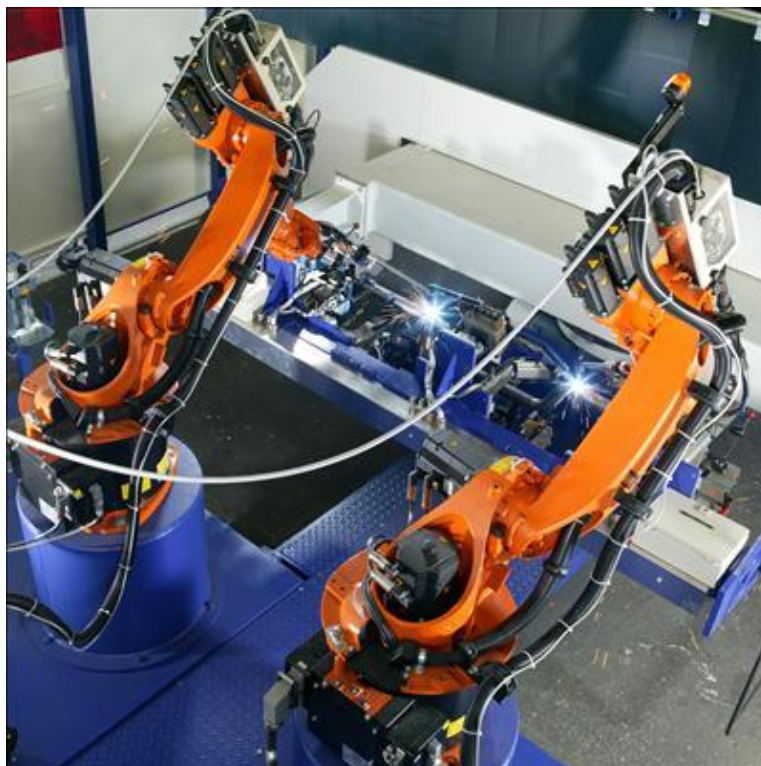
Слика 18. Робот за руковање производима [9]

3.5. Роботи за заваривање

Заваривање роботом се може поделити у 2 карактеристичне групе: шавно заваривање (МИГ, ТИГ, лучно и ласерско) и тачкасто заваривање. Оба типа су роботизована већ дужи низ година. Роботи су погодни за поновљиве послове или сличне делове који захтевају више од једне осе да би се заварили или где је приступ деловима тежак.

Најважније предности аутоматизованог заваривања су прецизност и продуктивност. Роботско заваривање побољшава поновљивост завара. Кад се једном робот програмира тачно, робот ће произвести прецизне, идентичне заваре сваки пут на деловима истих димензија и спецификација. Са роботским заваривањем се може постићи и повишена продуктивност. Робот не само да ради брже од човека, већ може да ради и 24 сата дневно, 365 дана у години без престанка, што је много ефикасније од ручног заваривања. Други бенефит аутоматизованог заваривања су нижи трошкови радне снаге. Роботско заваривање такође уклања ризик повреде, померајући оператора даље од штетних испарења и растопљених метала близу варном луку [4].

Шавно заваривање захтева роботе са способношћу ефикасног праћења путање и велике прецизности. МИГ и ТИГ системи су углавном постављени на роботе малог сопственог оптерећења 5-10 кг са дометом од око 1,8 м (слика 19). Роботи такође могу имати такозване ткачке функције са циљем давања одличних резултата при варењу, а у неким ситуацијама и бољи резултата него у случају да завариваје обавља човек. Такође могу контролисати параметер: снага, снабдевање електродом, проток гаса, итд. Коришћењем сервисних станица може се постићи 24 часовна продукција без потребе за људском интервенцијом.



Слика 19. Робот за ТИГ заваривање [10]

Роботи за тачкасто заваривање углавном носе на себи пиштољ за тачкасто заваривање и напајање на крају руке. С обзиром да ови роботи носе терет од приближно 100 кг, незамислив је процес без њих.



Слика 20. Робот за тачкасто заваривање [11]

Коришћење тачкастих заваривача рукама је скоро немогуће због тешкоће управљањем тако тешког алата изузетно прецизно што је од старта био захтев. С друге стране роботи ће са изузетном окретљивошћу и брзином управљати овим алатима. Робот може узастопно да помера пиштољ на сваку локацију и позицију наспрам заваривачког шава. Такође, може да понови програмиране распореде заваривања. Оператер који заварује ручно није у могућности да заварује добро као робот због тежине пиштоља и монотоности посла. Роботи за тачкасто заваривање требали би да имају шест или више оса и требали би да буду способни да приђу тачкама у рандом пољу из сваког угла. То омогућава флексибилност позиције пиштоља да врши заваривање.

3.6. Роботи за фарбање

Фарбање је један од првих процеса за које је искоришћен робот. Испарења и сама природа раствора који се користе у процесу фарбања, довела је до захтева да се минимализује контакт човека са оваквом средином и да се роботу да предност у обављању овог посла. Роботи за фарбање који су развијени су отпорни на услове у којима се фарба и имају тању конструкцију “руке” обзиром да не носе велику тежину, јер се од њих захтева способност приступа свим позицијама. Ови роботи углавном имају контролер који је специјално пројектован за тај посао. Не само због самог процеса фарбања и његових специфичних захтева, већ и због самог кретања које је комплексније од стандардних робота.



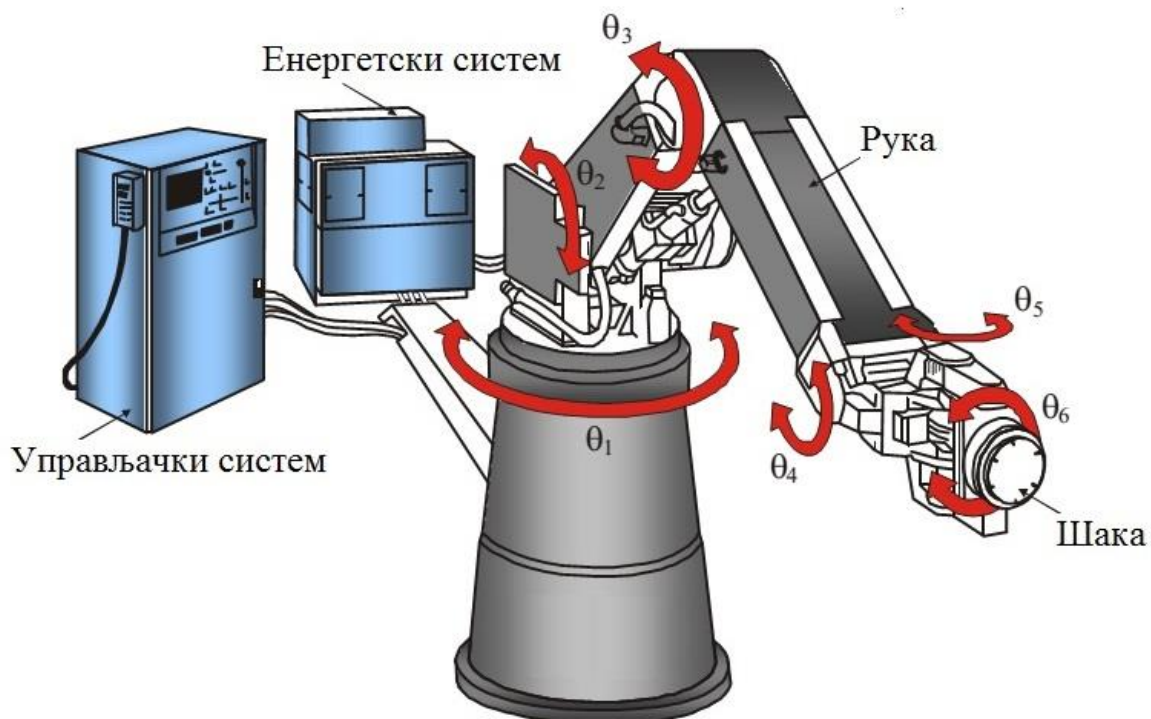
Слика 21. Робот за фарбање [12]

Процес је заснован на специјалним уређајима (пиштољима) при чему се боја користи или у спреју помешана са ваздухом или се користи течна боја која се распршује под притиском. У циљу смањења губитака и ова метода може да користи електростатички електрицитет, али се захтева контрола процеса. Без обзира на методу услови за рад радника су веома неповољни, поготову код методе прскања где се јављају канцерогена испарења, велика бука услед распршивања боје и могућност пожара. Користе се специјалне коморе или кабине са конвејерима. При континуалном кретању робот мора имати додатне мобилне осе и могућност идентификације различитих делова на једној линији због избора програма [2].

4. ОСНОВНИ СИСТЕМИ КОД РОБОТА

Под индустријским роботом сматра се аутоматски контролисан, репрограмабилан, вишенаменски манипулатор у три или више оса. Најчешће области употребе индустријских робота су: заваривање, фарбање, pick & place, паковање и палетизација, контрола квалитета производа, тестирање и др. Све ове послове карактерише потреба за високом прецизношћу, издржљивошћу и брзином. Пројектују се и производи са потребом да задовоље различите захтеве у производњи који се могу огледати у виду потребе за обављањем одређеног посла, затим рад у тешким или специфичним временским и производним условима, итд. Индустријски роботи су доступни у великом опсегу величина, облика, и конфигурација.

Индустријски робот се као сложен систем састоји из великог броја међусобно повезаних интерактивних система. Типичан пример структуре једног савременог индустријског робота је приказан на слици 22.



Слика 22. Индустријски робот [2]

Индустријски робот као основне компоненте садржи:

- Погонски систем
- Управљачки систем
- Ендефектори

- Механички систем
- Сензори.

4.1. Погонски систем

Погонски систем робота омогућава претварање и пренос енергије до зглоба манипулатора. У општем случају системи се реализују као серво системи и обухватају: мотор, преносник, евентуално мерни систем и управљачки део. Актуатори, односно мотори, могу бити пнеуматски, хидраулички и електрични [1]. Основна подела је на: пнеуматске, хидрауличне и електромоторе.

4.1.1. Пнеуматски погон

Пнеуматски погон је карактеристичан за роботе за подизање и пренос мањих терета. Пнеуматски погон се данас најчешће користи код једноставних PICK&PLACE робота за опслуживање различитих машина. Омогућава поуздан и брз рад уз ниску цену. Тешко се регулишу карактеристична кретање по задатим параметрима, па се обично користе за кретање између крајњих тачака дефинисаних граничницима. У последње време су се појавили пнеуматски серво системи који могу бити примењени и код робота, а такође се ради и на развоју вештачког мишића на бази пнеуматике.

Пнеумо-мотори могу бити: линеарни (транслаторни) и обртни. Линеарни пнеумо-мотори (пнеумо-цилиндри) могу бити једноструког и двоструког дејства, у врло великом броју варијанти извођења.



Слика 23. Пнеуматски актуатори [2]

Предности пнеуматског погона су:

- релативно јефтин
- једноставна градња
- брзо време реакције
- могу остварити праволинијска и обртна кретања

- отпорни су на преоптерећење, запаљивост, високе температуре, зрачење и електромагнетне сметње

Недостаци пнеуматског погона су:

- бука при раду
- неконтролисана брзина кретања
- погон од тачке до тачке
- лоше позиционирање
- потреба за сушењем, чишћењем и подмазивањем
- мања способност ношења великих терета
- краћи радни век

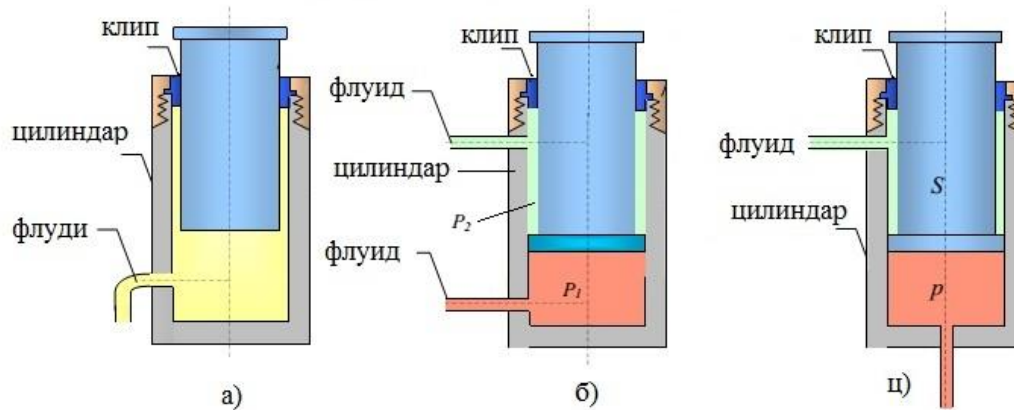
4.1.2. Хидраулични погон

Хидраулични погон се користи при раду са средњим или тежим оптерећењима, или када се жели прецизнији рад него што може да се постигне са пнеуматским погоном. Један је од првих начина покретања робота који је и данас актуелан за велике носивости (изнад 100 кг масе). Предности хидрауличног погона су у томе што се високим притисцима могу остварити велике силе и моменти у зглобу, па нису потребни редуктори, ни статичко уравнотежење. Због малих димензија и тежина могу се сместити директно у саме зглобове. Као код пнеуматских система, хидраулично регулирани системи се састоје од извора енергије (пумпе), хидрауличних водова, разводника и самог актуатора (тј. линеарног или обртног клипа у роботима). Главна разлика је у чињеници да разводник може бити пропорционално регулиран и на тај начин омогућава конвенционалну употребу хидрауличких серво-система, док код пнеуматских система разводник ради на принципу “укључено-искључено”.

Поред предности хидраулички погони се ређе користе из следећих разлога [1]:

- потребна је посебна јединица за напајање (хидро агрегат) што увећава цену робота
- тешкоће у преносу флуида под великим притиском еластичним отпором (из разлога безбедности притисци обично не прелазе 100 бара – покретно црево)
- због утицаја околине и ерозије водова потребно је филтрирање (честице испод 1 μm)
- тешкоће у елиминисању ваздуха из цевовода
- одржавање захтева раднике специјалисте

Постоје три типа линеарних цилиндара: клип једноструког деловања (слика 24.а), клип двоструког деловања (слика 24.б) и диференцијални клип (слика 24.ц)



Слика 24. Типови линеарних цилиндара [2]

4.1.3. Електрични погон

Електромотори су данас у најчешћој употреби, чак и за работе велике носивости. Основни разлози за ово су добра регулација и ниска цена. Међутим, с обзиром да имају прилично велики број обртаја $3000 \div 4000$ о/мин, остварују релативно мале обртне моменте, па су потребни редуктори. Предност коришћења електромотора је присутност електричне енергије, једноставност прикључака, управљање које је лагано, тачно и поуздано. Немају проблема, као код хидраулика, са истицањем уља и загађивањем. Шум који производе ови мотори је мали. Недостатак ових мотора је неповољан однос снаге и тежине, као и потенцијална опасност за рад у експлозивним срединама.

Данас работи користе следеће типове мотора:

- Мотори једносмерне струје
- Мотори наизменичне струје
- Корачни (степ) мотори

4.2. Управљачки систем

Један или више међусобно спојених уређаја који заједно функционишу, омогућујући при томе да се излаз система одржи константним или мења по утврђеној законитости представља управљачки систем.

За управљање индустријским процесима користе се уграђени микропроцесори или екстерни рачунари. Они су у могућности да обављају у потпуности нумеричке анализе потребне за оперативност, као и комуникацију са сензорима, алатима и различитим периферним елементима. Систем за управљање извршава меморисане функције или прикупља информација са сензора. Програмабилни контролери могу бити реализовани преко online или off-line. даљинских станица. Подаци се преносе помоћу различитих комуникацијских мрежа међу којима су најзаступљенији етернет, интернет, гпрс и тд.

4.3. Ендефектори

Ендефектори представљају задњи елемент у кинематском ланцу и најважни подсистем за успешну примену робота. Могу бити различити, од једноставних вакуумских хватача до хватача човеколике шаке или сложених машина. Због интеракције са околином опремљени су различитим сензорима а често и системом за аутоматску измену. Подељени су у 3 основне групе:

- Хватачи
- Алати
- Мерни и контролни уређаји

Хватачи служе за хватање и држање објеката при опслуживању машине, аранжирање на палетама, руковање боцама, пакетима, сировинама и тд. Могу се у њих сврстати и уређаји за држање (учвршћивање) ендефектора при аутоматској измени. Деле се у 3 групе:

- механички хватачи
- вакуумски, магнетни
- универзални



Слика 25. Типови хватача [2]

Алати представљају завршни уређаји код робота који обављају процесне операције. Под алатом тада подразумевамо оне уређаје којима се извршавају неке радне операције на предмету производње:

- клешта за тачкасто заваривање
- горионици за електролучно заваривање
- пиштољи за прскање (бојење и превлачење)
- лемилице
- уређаји за завртање завртњева
- тубе за наношење лепка
- уређаји за закивање закивака

- обртна вретена (мини-машине) за различите операције као што су бушење, проширивање, развртање, упуштање, резање навоја, брушење, полирање, чишћење одливака и слично
- уређаји за бушење и сечење ласером
- уређај за сечење воденим млазом “водени нож” или плазмом

4.4. Механички систем

Под појмом механичке јединице индустријског робота сматра се углавном манипулаторска рука, а поред ње и компоненте које су такоређи здружене са њом у једну целину. Фабрички механички рам који подржава механичку повезаност, зглобове, актуаторе (линеарне или ротационе), контролне вентиле и сензоре. Физичке димензије, дизајн, робусност и остале особине зависе од захтева.

4.5. Сензори

Самосталност и интелигенција робота омогућавају високу флексибилност и успешну примену робота. Да би робот био интелигентан мора имати могућност мерења својих параметара и параметара околине [2]. Сензори омогућавају роботу да:

- мери сопствене параметре и параметре околине
- да препозна, одреди позицију и оријентацију делова
- корекција грешака у моделу управљања
- откривање и решавање проблема у погрешним ситуацијама
- откривање и избегавање колизије
- мониторинг интеракције са околином
- осматрање промена, које могу утицати на извршење задатака
- контрола параметара процеса.

У роботизи се сензори дели на:

- унутрашње (сензор положаја и брзине)
- спољашње (сензор додира, блискости и растојања)

5. ПРОГРАМИРАЊЕ РОБОТА

Програмирања рада робота се може извести на више начина, а остварује се уносом програмских инструкција у управљачку јединицу роботског система. Битно је напоменути да неки од начина програмирања захтевају врло мало или никакво знање од корисника што је битно у индустријској пракси. Програмабилност или могућност репрограмирања значи да се програмирана кретања и помоћне функције могу мењати без физичке промене односно интервенције на самом роботу. На сложености доприноси потреба увођења сензорских информација као и потреба синхронизације рада са технолошким окружењем односно периферијом (машине, траке итд.) [2].

У општем случају без обзира на врсту програмирања програм мора да обезбеди роботу следеће информације:

- Координате битних тачака а то су крајње тачке у које енд-ефектор мора да дође, међутачке кроз које енд-ефектор мора да прође да би избегао препреке и колизију и референтне тачке које одређују путању кроз коју енд-ефектор пролази под одређеним условима.
- Статус енд-ефектора у тим тачкама (отворено, затворено...)
- Брзине за свако кретање
- Редослед и могућа извршавања операција

Ако изузмемо једноставне пнеуматске роботе ("pick and place") који раде између фиксних тачака и где се програмирање врши мануелно односно где се своди на постављање граничника или микропрекидача између крајњих тачака док се логика и редослед задају преко програмабилних аутомата или табле са пиновима, методе програмирања индустријских робота можемо поделити у две групе:

- Програмирање обучавањем
 - Помоћу уређаја
 - Вођењем
- Програмирање компјутерским језицима

5.1. Програмирање уређајем

Код робота са овим типом програмирања, дефинисање координата тачака планиране путање се изводи помоћу уређаја за обучавање (енгл. teaching box). Овде се ради о управљању типа "тачка по тачка". На уређају за обучавање (слика 26.) налази се дисплеј за приказивање броја тачке манипулацијског простора током фазе учења, док ће током фазе извођења програма бити приказан број програмске линије која се изводи. Могу бити приказани и неки статусни показатељи. На уређају за обучавање налазе се тастатуре за управљање стањем прихватнице, кретањима у зглобовима или

спољним координатама, тастер за ресетовање рада робота, тастер који омогућује извођење програма “корак по корак” и сл.



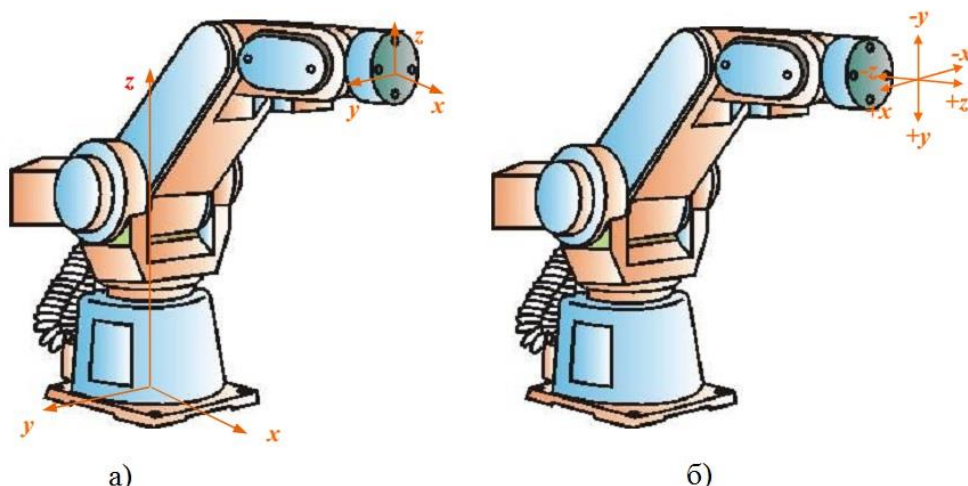
Слика 26. Уређај за програмирање [13]

Током фазе учења, прихватница се, постепеним померањима помоћу тастера уређаја за обучавање, доводи у жељену тачку. Тачка се под одређеним бројем похрањује у меморију управљачке јединице, као и код “playback” робота са индиректном фазом учења. Укупан број похрањених тачака којима се дефинише путања ограничен је расположивом меморијом. Код ових робота могу се појавити потешкоће уколико прихватница настоји да се помера по правој линији посебно код робота са револутним зглобовима [1].

У циљу повећања флексибилности програмирање обучавањем се може вршити у унутрашњим координатама, спољашњим координатама и координатама система везаног за врх енд-ефектора.

У првом случају, приказаном на слици 27.а, дефинише се спољни координатни систем причвршћен за основу робота, а у средишту се прихватнице дефинише нови координатни систем са истом орјентацијом. На сл. 27.б приказан је координатни систем алата чији се положај и орјентација дефинишу у односу на површину за коју је причвршћена прихватница.

Обучавање по унутрашњим координатама није увек погодно, па се често користи обучавање у спољашњим координатама где оператор задаје кретања дуж X-Y-Z референтног координатног система везаног за основу робота. При овоме управљачки систем у реалном времену врши трансформацију координата. На сличан начин се задаје и орјентација око X-Y-Z координата јер се при позиционирању она обично држи константна.



Слика 27. Начини управљања [2]

Ако оператер жели да управља роботом као на слици 27.а, тада ће на уређају за обуку активирати прекидач за избор координата и поставити га у положај "унутрашње координате". За вођење робота користиће шест парова дугмади. Сваким паром дугмади води се по један зглоб робота. Притиском на дугме "+" зглоб се обрће у позитивном смеру, а притиском на дугме "-" у негативном. На овај начин, вођењем једног по једног зглоба, доводи се завршни уређај у положај који се захтева. Тај положај робот ће запамтити када се на уређају за обуку притисне одређено дугме или се на тастатури управљачке јединице откуца одговарајућа наредба за памћење. Након тога робот се доводи до другог положаја који се памти, а поступак се понавља док се у потпуности не дефинише задатак. Брзина вођења може се подешавати посебним регулатором. Укључивање и искључивање завршног уређаја задаје се помоћу одговарајућег прекидача на уређају за обуку или куцањем наредбе на тастатури управљачке јединице [3].

У фази извршења задатка робот се креће од једног до другог запамћеног положаја при чему брзина није одређена брзином вођења током обуке, већ се задаје произвољно коришћењем тастатуре. При кретању од једног до другог запамћеног положаја робот покреће све зглобове истовремено.

Други начин дефинисања положаја и кретања робота као на слици 27.б. је коришћење тзв. спољашњих координата. У питању су три Декартове координате "врха" завршеног уређаја (x , y , z) и три угла који одређују његову оријентацију у простору (Θ , ϕ , ψ). Ако оператер жели да робота води на овај начин, тада прекидач за избор координата ставља у положај "спољашње координате". Шест парова дугмади на уређају за обуку сада добија другачије значење. Притискањем тастера првог пара ("+" или "-") мења се координата x , а све остале (y , z , Θ , ϕ , ψ) остају константне. Тако се сваким паром дугмади подешава по једна спољашња координата док се завршни уређај не доведе у тражени положај који се тада меморише.

Основна предност овог типа програмирања је једноставност јер не захтева никакав сложен софтвер којим би се управљачка јединица оспособила за обучавање. Друга предност је још једна једноставност али са становишта прецизности. Ради се о томе да оператер не мора унапред знати тачне координате положаје у којима завршни

уређај обавља неке операције. Потребно је само знати "где треба извршити операцију", а мерење положаја се обавља самим довођењем робота тј. завршног уређаја на одговарајуће место.

Основна непогодност обучавања вођењем лежи у немогућности да се програмирање робота изврши унапред. Наиме, програмирање се може извршити тек када се робот постави на производну линију. То међутим, представља приличан губитак времена, поготово ако се производња обавља у малим серијама.

5.2. Програмирање вођењем

Овакав начин програмирања се највише примењује тамо где су потребна континуална кретања као при бојењу или електролучном заваривању. Оператор директно води енд-ефектор по жељеним путањама при чему се симултано меморишу позиције свих оса у одређеном временском тренутку. При репродуковању кретања се репродукују жељене путање.



Слика 28. Програмирање вођењем [14]

Ови роботи су опремљени дигиталном управљачком јединицом у чију се меморију снимају роботски програми. Они остају похрањени у меморији док се год програм изводи. За роботе овог типа својствена је фаза учења током које робот памти потребна кретања које потом може потребан број пута понављати, па зато и назив "playback" роботи. За њих је својствено он-лине програмирање.

Код програмирања вођењем вешт оператер води прихватницу робота кроз манипулацијски простор дуж жељене путање, односно врши радње као када би и сам робот обављао дати задатак. Робот, који је у моду за учење, врши периодично памћење тачака (одређено периодом узорковања) дуж жељене трајекторије, те стања прихватнице (отворено / затворено), као и периодично генерирање програма. Подаци се похрањују у меморију управљачке јединице и након што је завршена фаза учење, робот се пребацује у извршни мод. Тада је робот у стању да понови претходно

научену кретњу обављајући при томе и планирани задатак. Брзина којом се прихватница креће током фазе учења не мора бити једнака брзини рада робота [2].

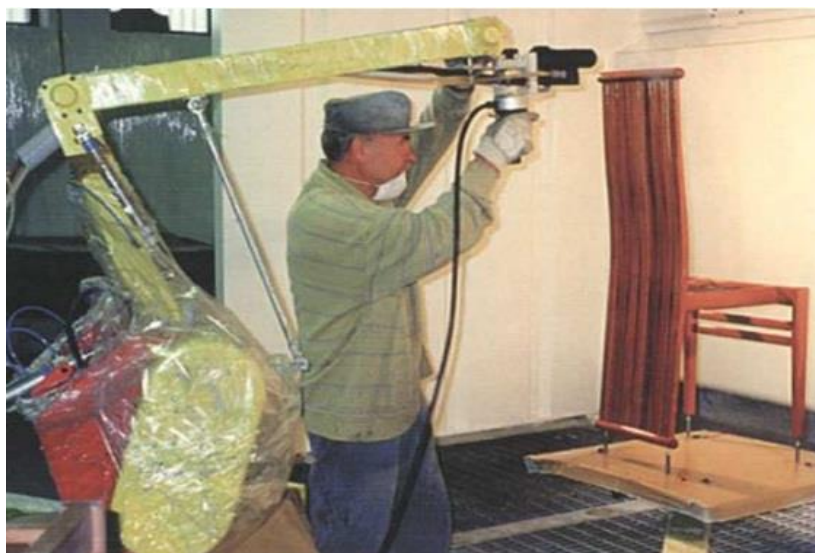
Када робот има велике габарите и када је оператеру тешко да води његову прихватницу по жељеној путањи, робот се опрема мањим роботом – пилотом, који је исте структуре као и велики, а служи само за извођење фазе учења (слика 29.). Оператер, наиме, води прихватницу мањег робота кроз жељене секвенце кретања. Сви подаци се периодично похрањују у заједничку управљачку јединицу, тако да је прави робот у стању репродуковати жељено кретање.



Слика 29. Програмирање вођењем габаритнијих робота [15]

Ови роботи се најчешће користе за заваривање, фарбање и сл. Не захтева се од корисника готово никакво знање о роботима, нити комплексно математичко описивање путања. Али ипак овај, старији начин “програмирања” робота има низ недостатака:

- Метод се не препоручује када робот извршава програм у окружењу опасном по човека
- Брзина “програмирања” зависи од вештине, осећаја и брзине рада оператера
- Због присуства човека некада је немогуће синхронизирати кретања свих компоненти у радном простору
- Приступ је неефикасан са аспекта коришћења расположиве меморије. Исте секвенце кретања немогуће је понављати извршавањем већ постојећег дела програма, већ се морају поново испрограмирати, што доприноси стварању врло дугих програма.



Слика 30. Пример програмирање вођењем робота за фарбање [16]

5.3. Програмирање роботским језицима

Данас у индустрији постоји мноштво програмских језика намењених програмирању рада робота и не постоји апсолутни стандард за роботске језике. Неки роботски језици настали су од програмских језика намењених програмирању нумеричко контролираних алатних машина, док су други развијени из компјутерских програмских језика. У првом случају програмске језике су развили углавном произвођачи опреме, док су у другом случају они настали на институтима за роботiku кроз истраживачки рад. Језици су углавном написани за одређене роботске фамилије. Под роботским програмом назива се скуп инструкција чијим ће извршавањем управљачка јединица роботског система омогућити да кроз програмиране путање робот обави планирани задатак [2].

Постоји више различитих нивоа роботских језика. На најнижем нивоу налазе се тзв. машински језици односно машински код. С друге стране, коректно писање програма је врло тешко, тешко је пронаћи грешке у програму, а проблем представља и његово едитовање. Како би се процес програмирања учинио једноставнијим и лакшим за корисника, развили су се програмски језици вишег нивоа.

Роботски језици:

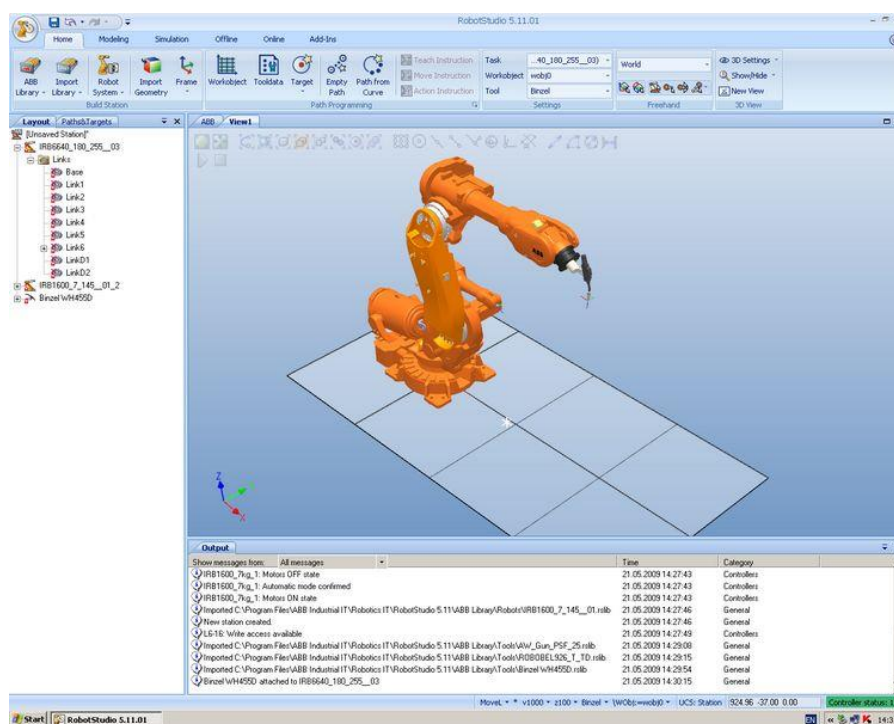
- Funky (произвођач IBM) Омогућује комуникацију са додатном опремом, а извођење фазе учења и унос инструкција могући су преко тастатуре.
- VAL (Stanford University) Развијен 1973. године. Темељи се на роботском језику WAVE. Омогућује дефинисање континуиране путање
- AUTOPASS (IBM) Темељи се на програмском језику PL/I. Омогућује вишепроцесорски рад, обраду информација са сензора, као и рад више робота
- AL (Stanford Artificial Intelligence Lab.) Темељи се на програмском језику ALGOL. Омогућује вођење прихватнице по путањи, брзини,

интерполацију путање, изузетно је сложен и користи се у истраживачке сврхе.

- LM (IMAG robotics laboratory at the University of Grenoble) Развијен је 1979. године. Прихвата главне концепте језика AL (паралелно програмирање), али се темељи на микрокомпјутеру.

У неким индустријама и технологијама као што су аутомобилска и авиоиндустрија, где је потребно програмирати на стотине и хиљаде тачака уз задржавање целе линије програмирање обучавањем није повољно. С обзиром да сви подаци (координате) тачака већ постоје на цртежима или геометријском моделу логично је користити текстуалне језике. Предности су:

- Програм се припрема без коришћења робота односно задржавања производње
- Нови програми могу користити претходно развијене рутине
- Програми се брзо и лако мењају
- Лако укључивање сензорских и комплексних информација
- Могуће је укључити и податке са виших нивоа директно из CAD-а
- Могућа је графичка симулација и провера програма
- Програм се пише са минималним бројем података и може бити коришћен за различите роботе уз примену различитих пост процесора



Слика 31. Програмски интерфејс Robot studio[14]

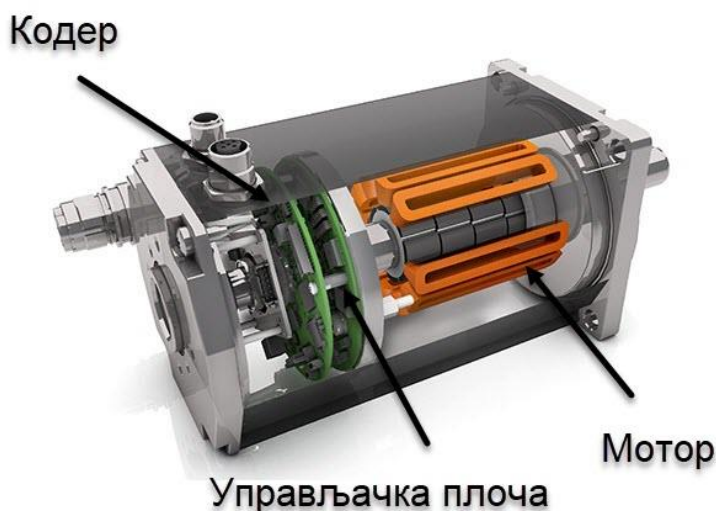
6. СЕРВО МОТОРИ И ТАЛАСНИ РЕДУКТОРИ

6.1. Серво мотори

Серво мотор представља електрични уређај који по својој намени може да гура или ротира механизме са великом прецизношћу. Дефинише се и као аутоматски уређај који користи рутину исправљања грешака како би исправио своје кретање и дошао или прошао кроз одређене тачке, тачно прецизираном брзином и обртним моментом односно силом деловања. Термин серво се може користити и за термине који нису серво мотори односно за системе који користе механизме повртане спреге за контролу параметара кретања. Термин се користи за општи управљачки појам, који упрошћено значи повратна петља за позиционирање.

Серво мотор може бити DC, AC или DC без четкица у комбинацији са сензором положаја, најчешће енкодера. Положај серво мотора одређује се електричним импулсом и његово коло се налази поред мотора.

Састоји се од три главна дела: мотора, управљачке плоче и кодера односно потенциометра који је повезан за вратило мотора (слика 32.) Сваки серво мотор ради на принципу модулације под називом Импулсно кодирана модулација или скраћено РСМ. Управљачка плоча од кодера добија импулс у одређеној јединици времена. Дужина тог импулса одређује угаони степен вратила.



Слика 32. Пресек серво мотора[17]

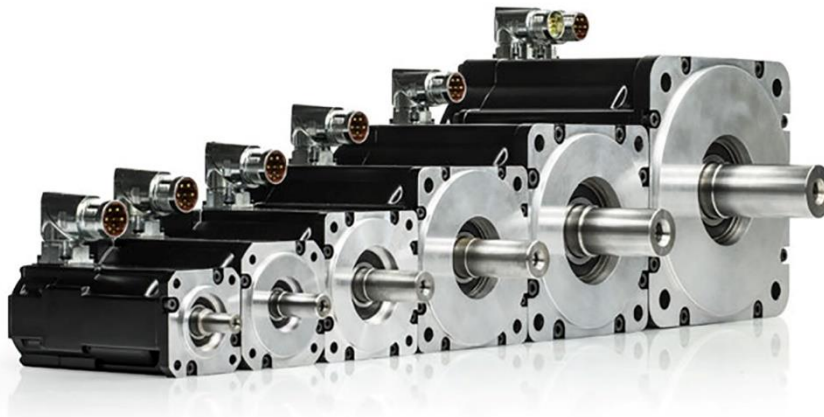
Кодер и потенциометар су обоје електромеханички уређаји који мере положај. Најосновнија разлика је у типу сигнала. Кодери емитују дигитални док је сигнал потенциометра аналогни. Генерално је потенциометру краћи век трајања у односу на

кодер који је по још једној карактеристици бољи, а то је тачност. Самим тим се ценовно и котирају, те ће се према и томе вршити одабир.

За рад серво мотора непходан је уређај у виду серво појачавача односно драјвера који управља комуникацијску петљу. Они константно од енкодера добијају повртану информацију у виду брзине и позиције, док у простору апликације од других сензора могу добити повртану информацију којом би затворили комуникацијску петљу. Драјвер регулише количину струје коју мотор добија како би регулисао потребан момент и одузео га када за њиме нема толике потребе.

Серво мотори се најчешће користе у роботизи и аутоматизацији. Посебно у ситуацијама где мотор мора бити у стању да ради у режиму рада без прегревања, да ради у нултој брзини а да притом задржи свој момент односно оптерећење у задатом положају. Користе се у индустријским машинама алаткама, у процесима производње и паковања. Али се њихово максимално искоришћење може најбоље видети ипак у роботима због глатке комуникације и тачног, поновљивог позиционирања.

Релативно мале величине, серво је веома моћан. Сходно механичком оптерећењу мотор црпи снагу, односно врши потрошњу струје.



Слика 33. Величине серво мотора једне серије[18]

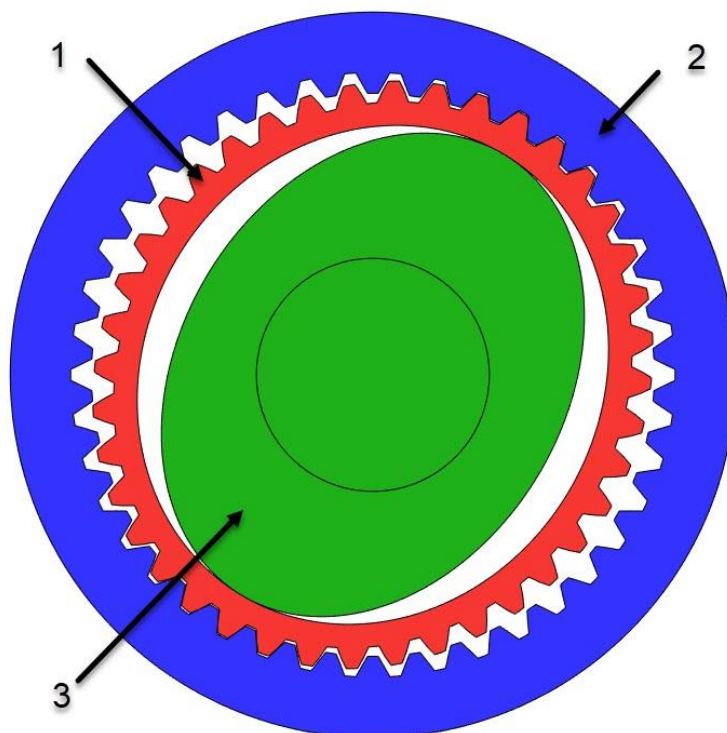
6.2. Таласни редуктори

Индустријски роботи по својој потреби морају бити конструкцијски саздани од компоненета које омогућавају њихову прецизност, ригидност, компактност и поновљивост. Поред серво мотора, најодговорнија механичка компонента је њен зглоб. Поред широког спектра решења које се годинама користе у зависности од потребе, цене и могућности робота, најбоље се показао зглоб који у себи садржи таласни редуктор.

Његова предност у односу на друга решења је велика компактност, мала тежина, велики преносни однос, реконфигурација односа у стандардном кућишту, поновљивост и способност за пренос великог обртног момента. Однос од 30:1 до 320:1

је могућ у истом кућишту[20] Све ове карактеристике су идеалне за одбир великог броја зглобова индустријског робота.

Таласни преносник спада у групу четворочланих механизма који се састоји од еластичног зупчаника са спољашњим озубљењем (1), крутог зупчаника са унутрашњим озубљењем (2), генератора таласа (3) и постоља. Број зуба крутог зупчаника је већи од броја еластичног зупчаника, најчешће је то 2. Пошто су им подеони кораци исти а угаони кораци различити долази до релативног кретања зупчаника.



Слика 34. Принцип таласног редуктора [19]

Овакав редуктор карактерише велики преносни однос $i > 1:420$, степен корисног дејства $\eta = 0,9$, преносни однос до $M = 6000 \text{ Nm}$

7. МОДЕЛИРАЊЕ ПЕТЕ И ШЕСТЕ ОСЕ

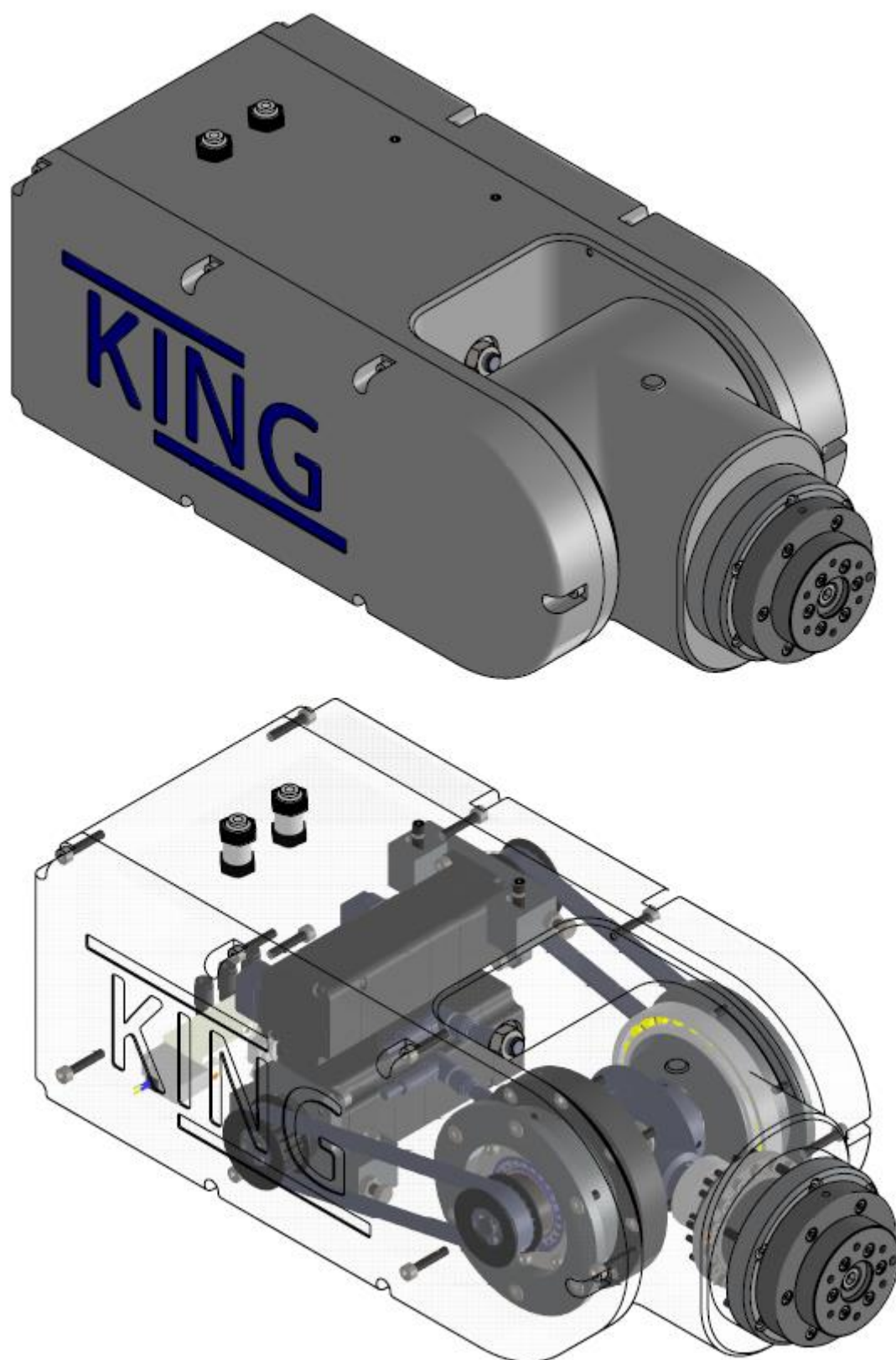
Под петом и шестом осом подразумевају се последње 2 осе које се као последње налазе у ланцу стандардног, комерцијалног шестоосног индустријског робота. Ове осе представљају условно речено, крајње тачке приликом максималног дохвата робота, је је потребно да оне буду и по маси најмање а тиме и најкомпактније.

Поред кретања систем садржи и директно управљани пнеуматски разводник 5/3 са затвореним центром. Овим се омогућује коришћење постављеног пнеуматског алата без додатних довода за ваздуха као и директно управљање из управљачке јединице пројектованог шестоосног робота. Затворен центар је обавезан у сугурносном циклусу како би спречио нежељену активност пнеуматског цилиндра приликом изненадног нестанка напона и ваздуха у систему.

За погон моделираних оса (слика 35), одабран је YASKAWA серво мотор, са кочницом и апсолутним енкодером, који приликом изненадног нестанка напона задржава кочницом од падања механику, док би енкодер задржао само позицију. Момент као и смер кретања се преко зупчастог каиша преноси на одабране редукторе. Зупчасти пренос је одабран како би се компактније пројектовао систем елемената за пренос кретања. Постигнут је бољи расподела масе система, чиме је могуће одабрати моторе мање снаге и тиме смањили трошкови компонената које су потребне за функционисање ових оса.

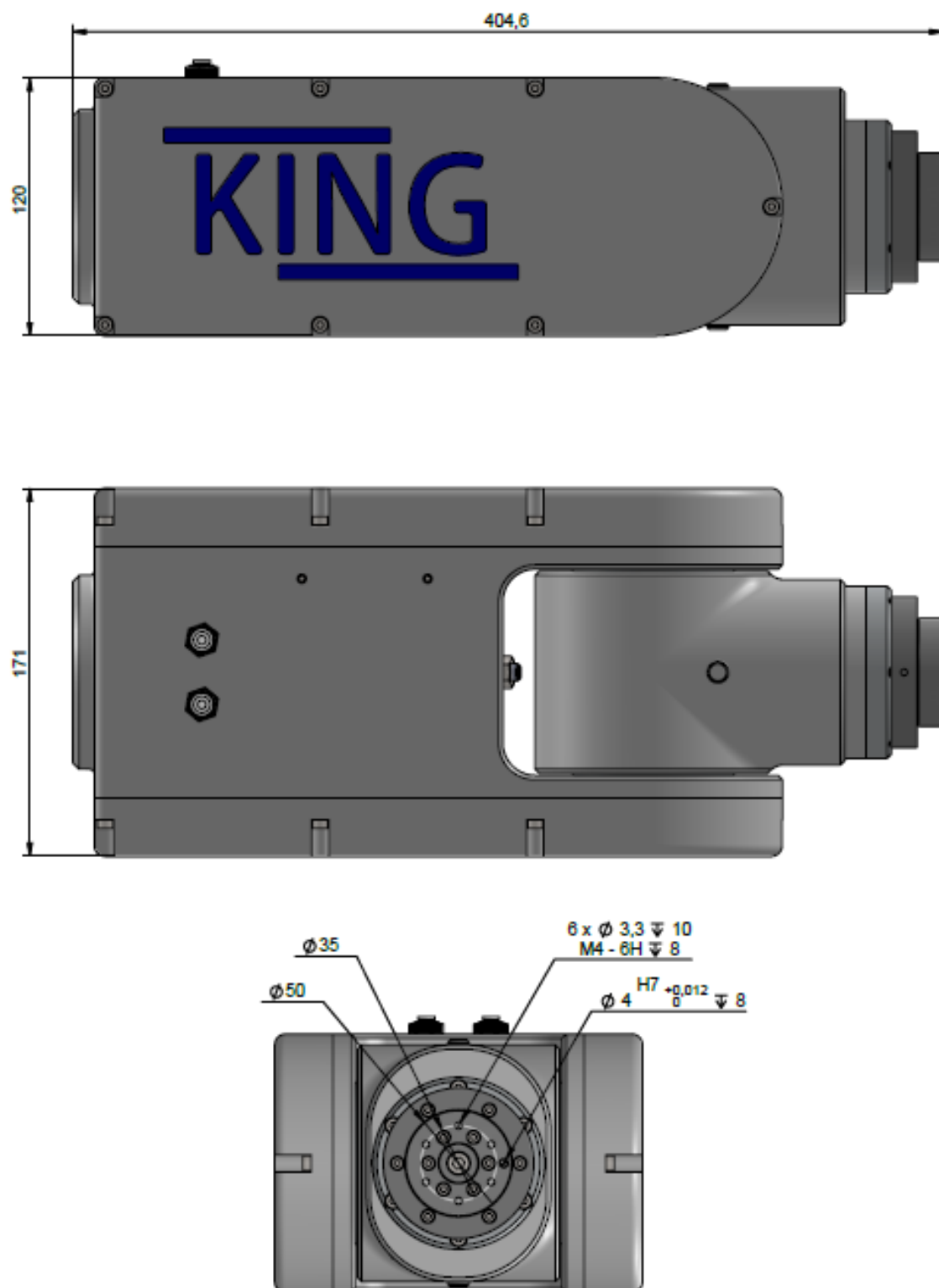
Габарити оса (слика 36.) показују да робот припада групи компактних типова, предвиђен за мање терете. Предност коју има је мања цена израде и коришћење у апликацијама које имају ограничено место за кретање. Због свог мањег габарита могуће је направити мању по величини ћелију која би се састојала из више ових индустријских робота. Тиме се ствара лако изменљива станица, за нпр. монтажу одређених елемената у производном процесу, за коју би се иначе морала наменски дизајнирати и изградити веома јединствена и услед укидања процеса, непотребна станицу. Индустријски робот је веома прилагодљив и на дуже стазе исплатљивији у фабрикама које често мењају или прилагођавају своје производне линије и процесе.

Прецизно и поновљиво монтирање алата је могуће преко толерисаног H7 отвора, чивије и вијака M4. Ова функција је изузетно важна приликом мануелне замене алата, као и поновљивости, како би у складу са програмом робота тачка деловања у простору увек била иста. Тиме се осигурава процес као и алат од колизија.



а

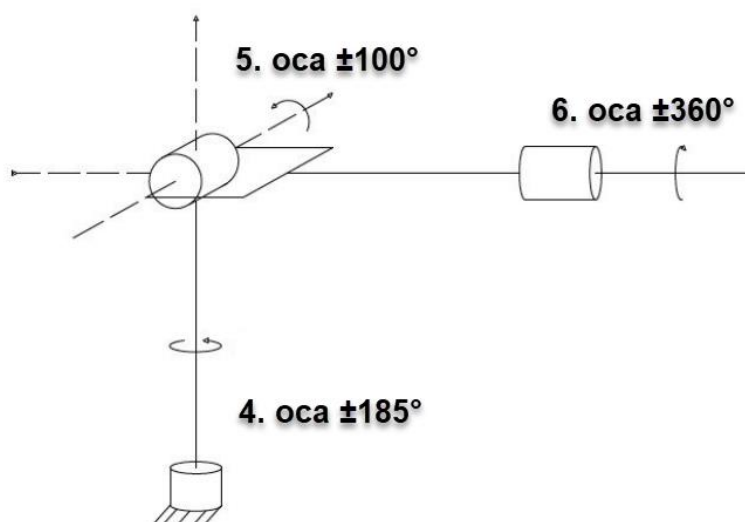
Слика 35. 3Д модел крајњих осе робота



Слика 36. Габарити пете и шесте осе робота

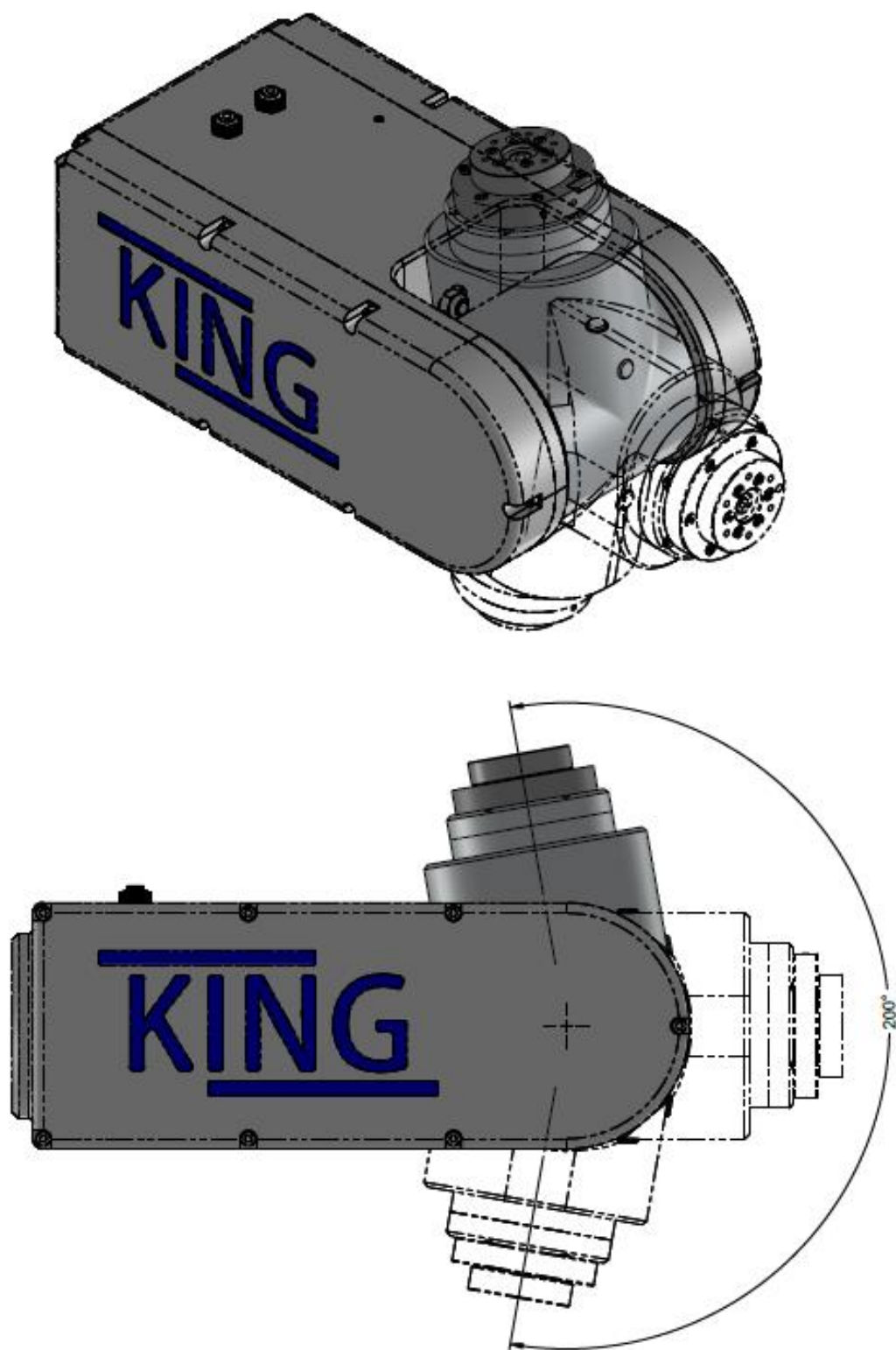
Пета оса (слика 38.) је механички ограничена кретањем услед конструкције и сензора за лимит. Предвиђено је коришћење индуктивног сензора, који спада у групу безконтактних сензора. Њихов рад је заснован на зависности струје индуктивног калема од промене отпора кола, односно на електромагнетној индукцији. Пошто је предвиђено кућиште робота израђено од алуминијума, одабран је у складу са тим сензор који реагује на одабрани материјал. Поред предности да не постоји никакав вид њиховог хабања, мерни систем је неосетљив на вибрације, прашину и влагу. Ово пружа могућност да се робот користи у релативно агресивнијим срединама. Како би се користио као сигурносни логика, рад сензора мора бити такав да је он у електросистему нормално затворен. Ово спречава погрешно читавање његовог стања услед неисправности или пада напона.

Радијус кретања пете осе је $\pm 100^\circ$. Оваква изведба у кинематској структури пројектованог индустријског шестоосног робота омогућава велике дохвате (слика 37.). Пета оса се надовезује на четврту осу која није овде моделирана, али је стандарно $\pm 185^\circ$. Таква оса предвиђа кинематски зглоб са шупљом осовином, тако да је могуће постављање потребних каблова кроз њу. Предвиђени су каблови за напајање и енкодере оба серво мотора, 2 индуктивна сензора, 2 електромагнетна намотаја пнеуматског вентила, као и 3 вода за ваздух под притиском за исти вентил.

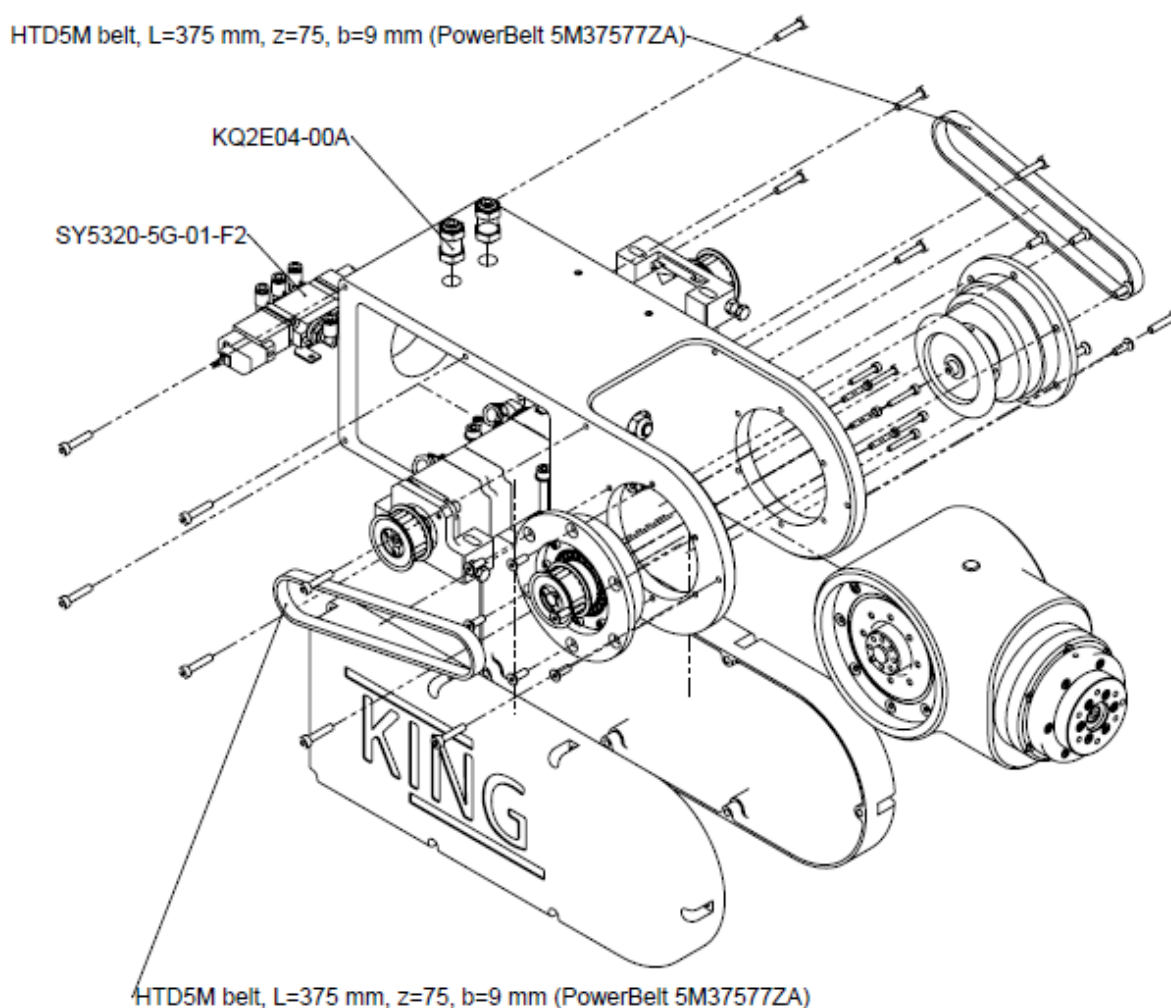


Слика 37. Кинематска структура

Шеста оса се може бесконачно окретати у било ком смеру. Оваква могућност кретања поред добрих манипулативних карактеристика, ставља робота у групу машина алатке. Овим се проширује њена могућност да услед потребе замени и додатни уређај у својој ћелији. Тиме оправдава иницијално већу цену за куповину.



Слика 38. Угаоно ограничење кретања робота

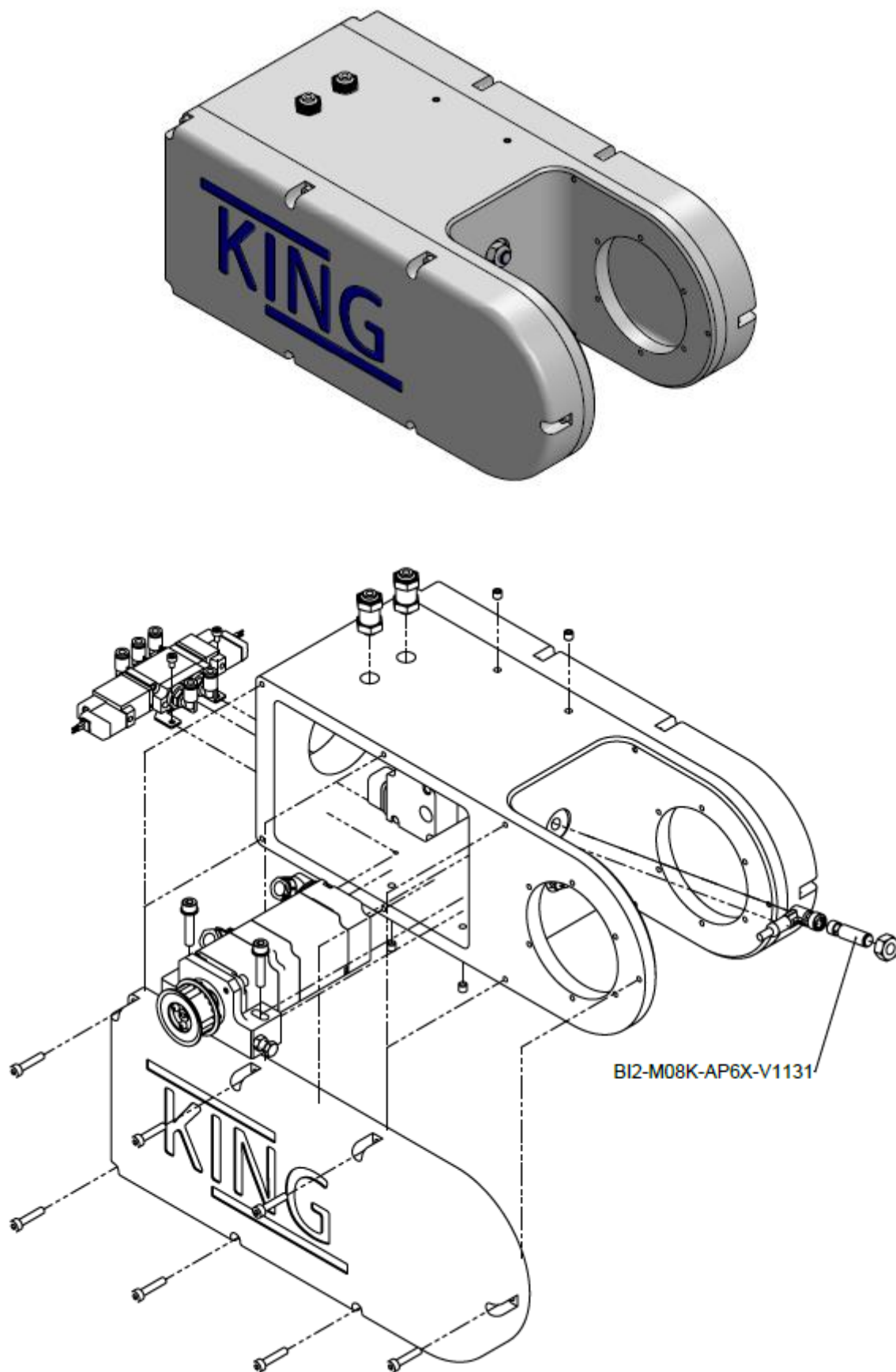


Слика 39. Делови пете и шесте осе

На слици 39. се могу видети саставни делови пете и шесте осе. Ова конструкција представља компактну конструкцију са веома сложенom механиком. Скидањем бочних поклопаца омогућено је сервисирање и монтажа подсклопова оса.

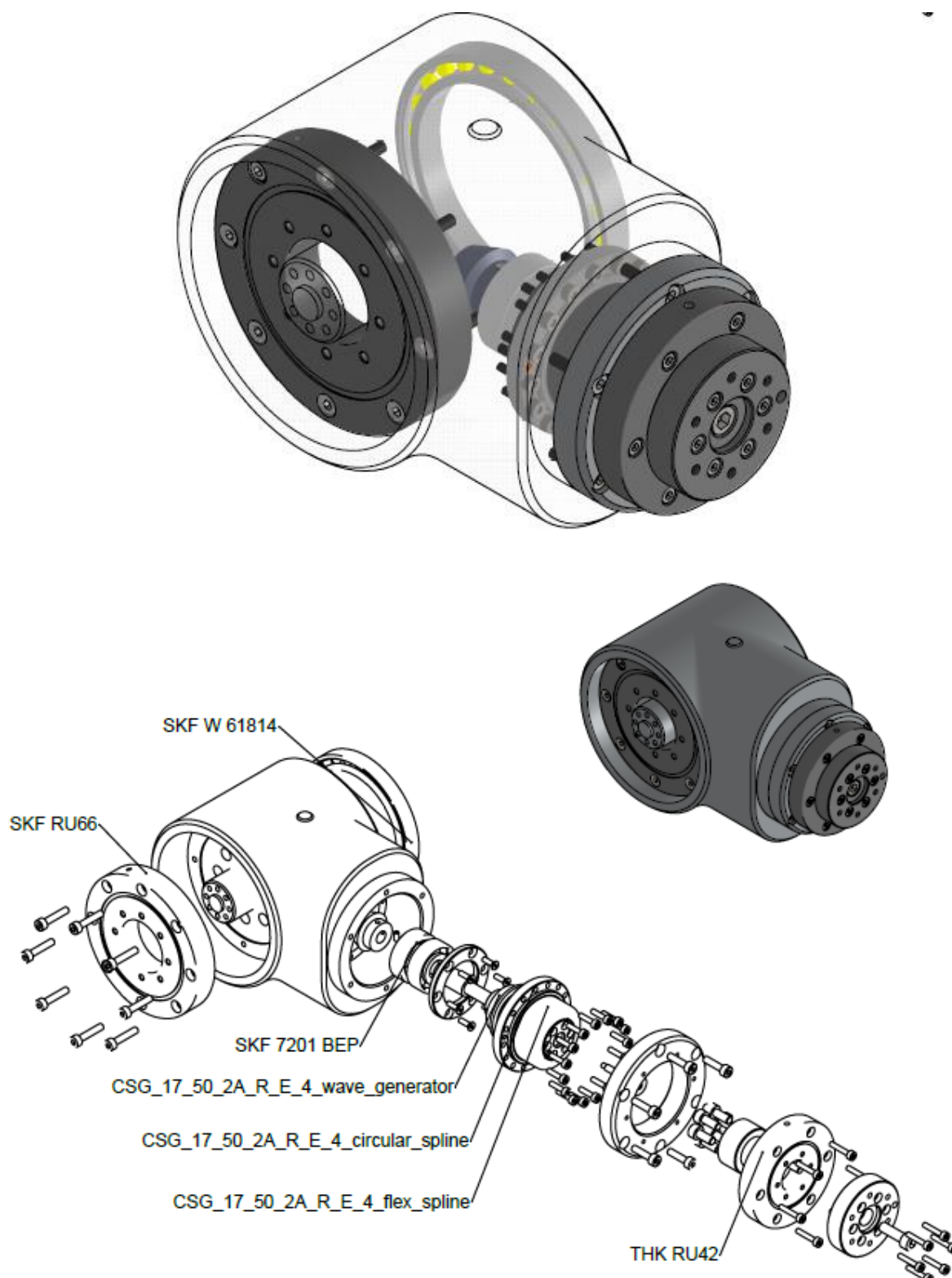
Унутар основе рама су смештена 2 серво мотора од по 100 W. Конструкцијски је омогућено њихово подешавање положаја, затезање каиша, јер се обртни моменти преносе ременицом на 2 ремена која су у односу 1:1.

Поред њих се налази и пнеуматски 5/3 вентил са затвореним центром. Предвиђено је да се ваздух под притиском доводи кроз остале осе робота као и 2 повратна вода испуста како се не би угрозила унутрашњост осе могућом влагом која се може наћи у пнеуматском систему.



Слика 40. Саставни делови пете осе

Ротациона глава (слика 41.) је по својој функцији једна од захтевнијих склопова на индустријском роботу. У њој је смештена механика која омогућује њену ротацију заједно са механиком која погони шесту осу. Такав дизајн је постигнут коришћењем система улежиштења и конусних зупчаника.



Слика 41. Ротациона глава шесте осе

Због мањих димензија кућишта у које је потребно спаковати редукторе, коришћен је таласни редуктор фирме Harmonic Drive. Због карактеристика уградње коришћена су две различите серије редуктора. Мотор који контролише ротацију пете осе преноси обртни момент до серије CSD чији је одабран преносни однос $i=100$. Тако да се на њеном крају добија момент од 31,8 Nm. Док је мотор који контролише ротацију шесте осе у спрезу са конусним зупчаницама (однос 3/1) везан за редуктор серије CSG одабраног преносног односа $i=50$. Тако да је на излазу максимална брзина ротације од 360 min⁻¹.

Услед сила које се јављају као реакција на ношење терета или деловањем на обрадни део, потребно је аксијално у односу на осе лежајева имати потребно ношење. Као тип лежејава одабран је конусно бачvasti једнореди лежај типа THK RU i SKF RU.

Пренос ка шестој оси се остварује преко конусно завојних зупчаника. Однос 3:1, модул 1,3.

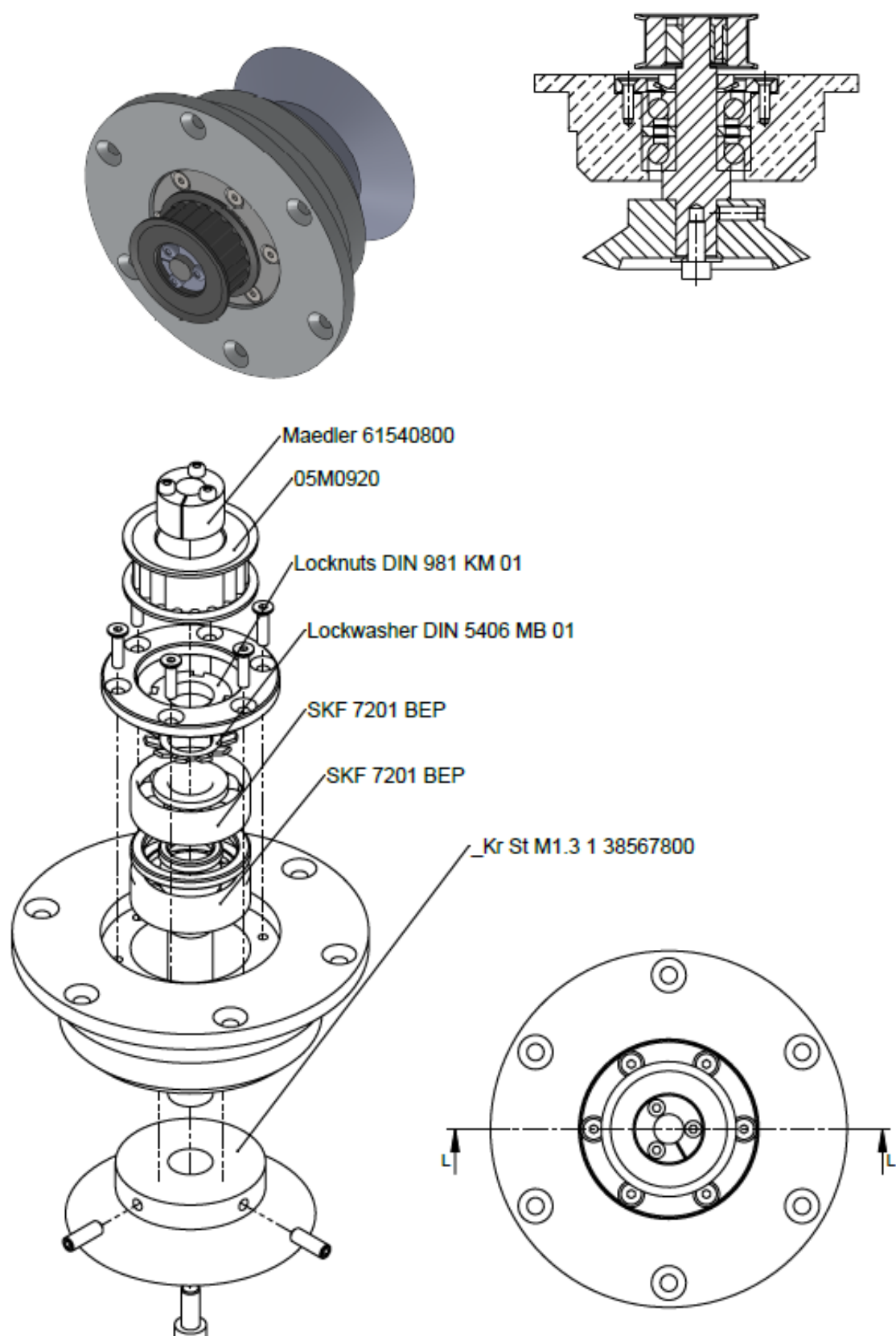
Конусни завојни зупчаници (слике 42 и 43) су одабрани зато што се њихове осе обртања секу, тако да дизајнерски одговарају функцији преноса кретања и обртног момента. Основна предност одабира у односу на стандардне са правим зупцима и косим зупцима је мирнији рад, већа носивост и најбитније минималан "backlash". Последња ставка је и најбитнија, јер је прецизност кретања основа работа, тако да би грешка генерисана у таквој спрези довела до непоновљивог кретања работа.

Одабрана погонска јединица Yaskawa SGM7J-01A7D6C. Yaskawa SIGMA серија 7. Снага мотора 100 W. 24-bit апсолутни енкодер са 24 VDC кочницом, слика 44.

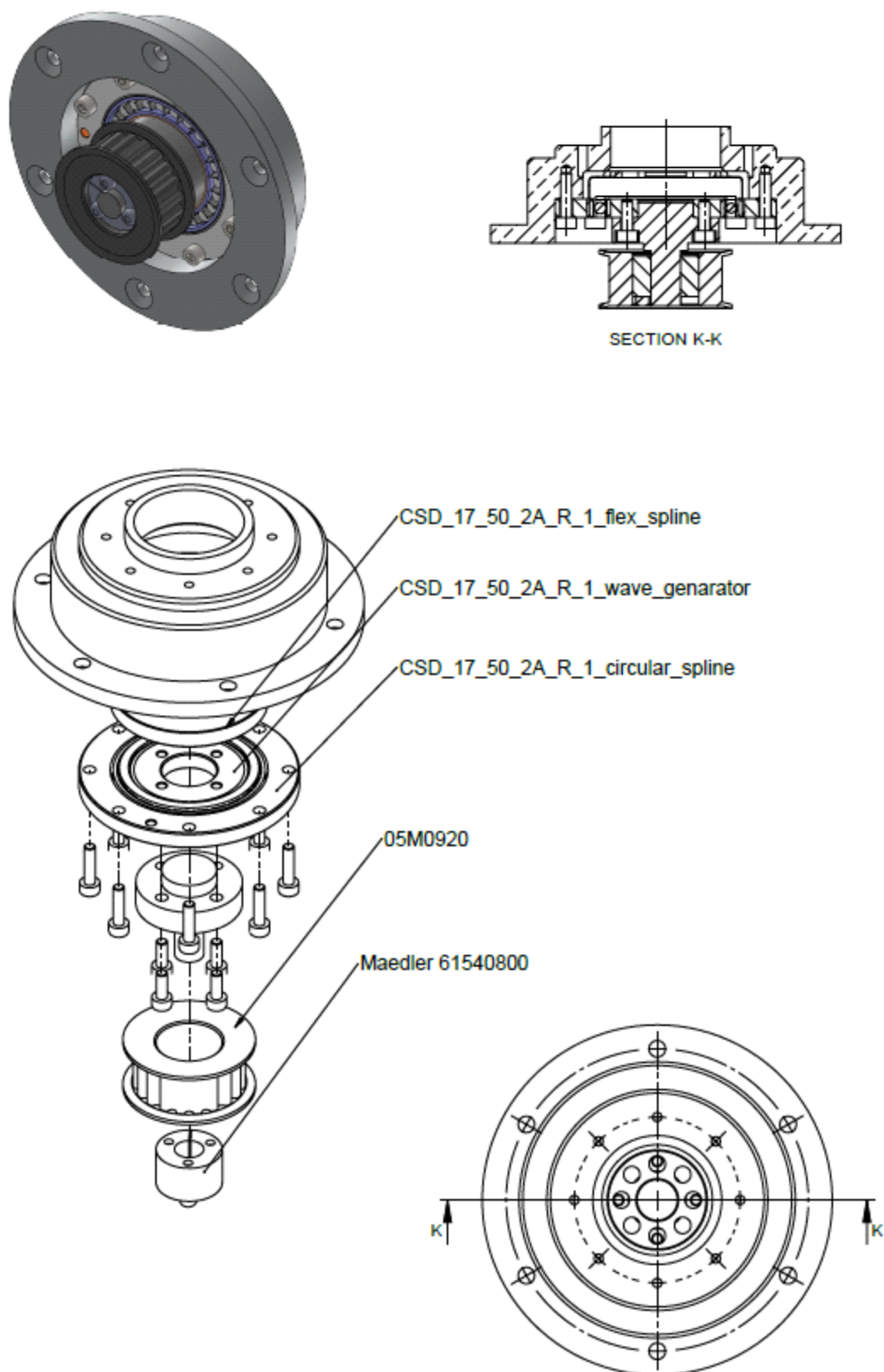
Са снагом од 100 W на 200 V, на вратилу мотора добија се континуални обртни момент од 0,318 Nm. По потреби и у мањим интервалима могуће је постигнути максимални обртни момент на мотору од 1,111 Nm. Брзина обртаја за ову серију је стандардних 3000 обртаја у минути, док је максимално у краћим интервалима могуће постићи и 6000 обртаја у минути. Ове вредности су на излазима оса повећане односно смањене услед редуктора у зависности од осе.

Пошто је одабран тип са кочницом, остварује се и обртни момент када је систем искључен са напона, од 0,318 Nm.

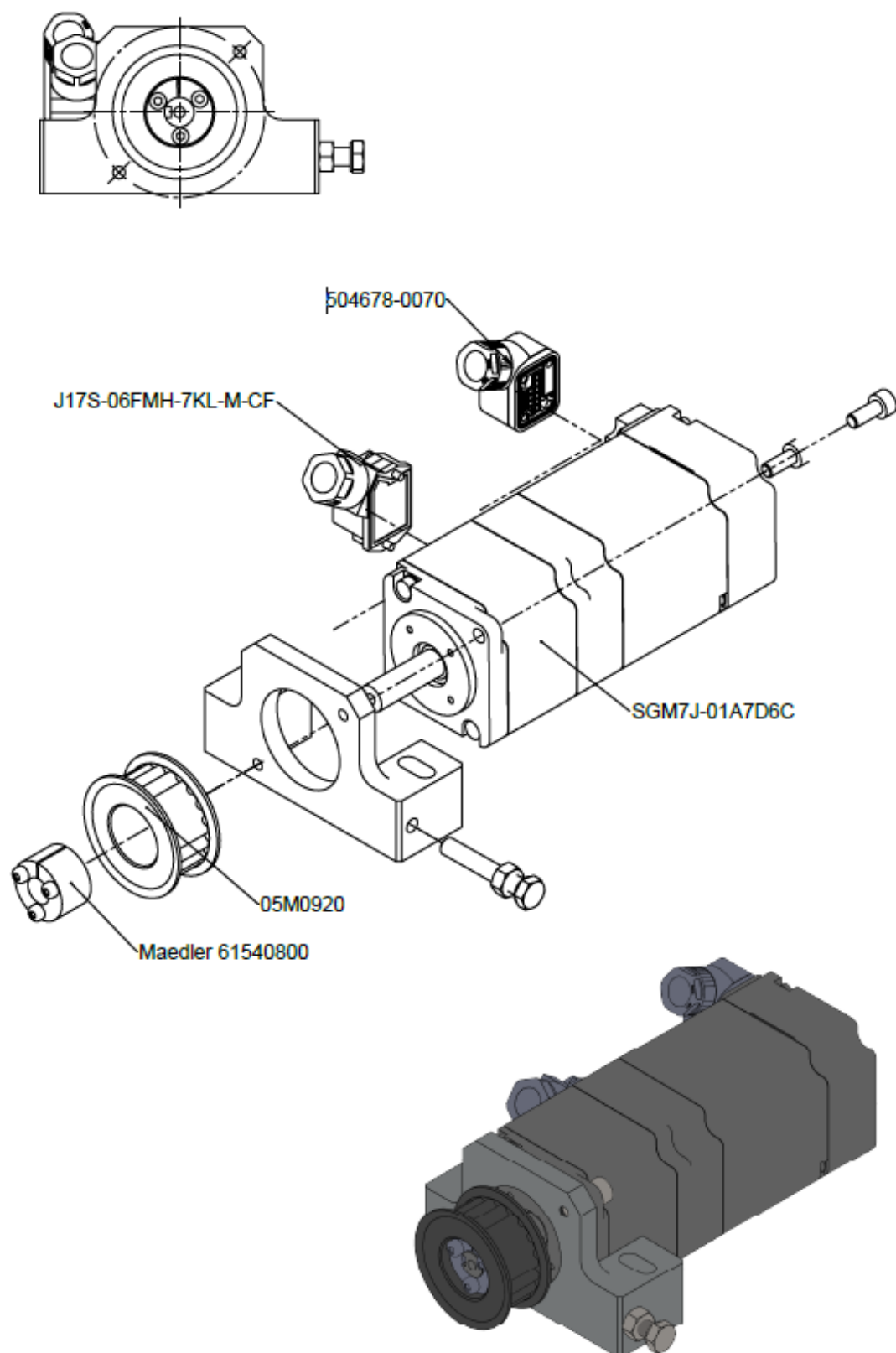
Приликом избора каблова за напајање и енкодерског кабла, веома је битно користити флексибилне каблове услед ротације крајњих оса у односу на остатак кинематског система. У супротном дошло би до оштећења које би резултирало прекидом комуникације са енкодером или гашење мотора услед пада напона.



Слика 42. Склоп конусно завојних зупчаника

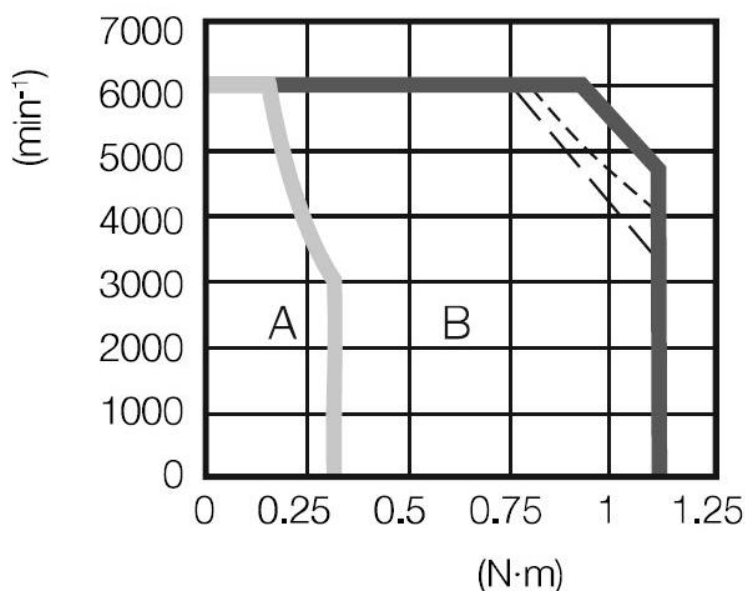


Слика 43. Редуктор пета осе.



Слика 44. Серво мотор

Ременица је постављена на осовину мотора и причвршћена специјалним еластичним прстеном. Овај тип везе је изабран у односу на клин јер омогућује поуздану везу. Због учесталих промена кретања код клина могу довести до честих удара и његовог оштећења, која би као резултат створила проклизавање и губитак положаја робота.



Слика 44. Крива момента и брзине серво мотора [18]

Слика 44. осликава криву момента нашег одабраног мотора која се приказује у зависности са бројем обртаја. На њој уочавамо пар тачака које су нам битне за функционисање. Номинални момент од $0,318 \text{ Nm}$ се користи до максимално 3000 min^{-1} . Након тога он полако опада до максималних 6000 min^{-1} . Номинални момент је максимални момент који мотор може производити континуално при номиналној брзини или испод ње, а да не дође до прегревања. Овај регион је означен са А. Регион В, представља интермитентни. У њему видимо да је могуће користити максимални обртни момент који мотор може да испоручи. Користи се у краткотрајним случајевима, као што су убрзање и успорење.

8. ЗАКЉУЧАК

Увођењем робота у индустрију, направљен је искорак након кога је незамисливо вратити се пређашњем начину производње. Такав пораст функционалности, нових техника и технологија, као и смањење цене коначног производа, гурају пројектовање производних процеса ка потпуној елиминацији људске грешке. Предухитрити и онемогућити појаву шкартова проузроковану радом радника, повећава се производност као и квалитет. Људска радна снага преузима примат одржавања робота, пројектовања и управљања њима. Нове фабрике испуњене овим новим алатима постају безбедније и продуктивније.

У свету је општи тренд пораста коришћења роботски јединица, а уједно и рад на развијању нових, бољих, јефтинијих и универзалнијих модела. Продаја робота 2011. године у свету је порасла за 38% односно за 166.000 јединица у односу на ранију годину и то представља највећи пораст од 1961. године. Земље са највећим порастом су наравно најјаче индустрије света, односно Кина, Америка и Немачка.

Као и код било које пословне одлуке, постоје разлози за и против аутоматизације са индустријским роботима. Потребно је сагледати све чињенице и извршити процене потреба за производним капацитетима.

Међу предностима индустријски работи несумњиво на првом месту се може ставити квалитет. Роботи имају способност да драматично побољшају квалитет производа. Радње се изводе прецизно и високе поновљивости сваки пут. Овај степен поновљивости је тешко постићи на било који други начин. Са роботима, пропусност брзине се повећава, што директно утиче на производњу. Будући да работи имају способност да раде са константном брзином без потребе за одмором они имају потенцијал да произведу више од човека. Са аспекта сигурности работи повећавају сигурност на радном месту. Радници сада имају надзорну улогу, тако да они више не морају обављати ризичне послове. Уштеда је један од најважнијих аспеката било које велике промене од стране руководства. Већа сигурност радника доводи до финансијске уштеде. Потребне су мање здравствене заштите и осигурања за послодавце. Роботи такође неуморно раде чиме се штеди драгоцено време. Њихови покрети су увек тачни, тако да се мање материјала утроши на шкарт.

Недостаци примене индустријских робота се огледају у томе што је на старту потребно значајно улагање тако да су почетни трошкови велики. Почетно улагање у робота је значајно, а некада и одлучујући фактор за избегавање овог вида унапређења производње. Трошак аутоматизације треба уврстити у целокупан финансијски прорачун. Редовне потребе одржавања које су пратеће и обавезне повећавају трошкове. Такође треба обратити пажњу и предузети праву одлуку, пошто укључивање индустријског робота не даје увек тражене резултате. Без планирања, предузећа могу имати потешкоћа у постизању својих циљева.

Запослени се морају обучити у програмирању и интеракцијом с новом роботском опремом. Зависно од купљених робота, њиховој намени и потребама производних капацитета мора бити обезбеђено њихово програмирање. Њихова комплексност, односно једноставност ће се одразити на укупну цену коначног производа, у чему ће се уједно и огледати њихова коначна оправданост.

Може се очекивати даљи и назауостављиви напредак ове гране индустрије, који ће можда некада резултирати и појавом футуристичких техничких постројења, која би требала цео људки род да уведу у нову индустријску револуцију праћену животним погодностима и можда општем благостању.

Даљи развој робота је условљен напредком у домену његовог управљања и конструкције. Смањивањем масе и коришћењем јачих мотора добијамо боље карактеристике индустријског робота. Програми за 3Д моделирање нам омогућавају да за краће време спроведемо иницијалну идеју у почетну фазу израде новог робота. Маса, димензија, кинематика и динамика кретања се могу лакше израчунати и кориговати. Скраћено време производње се преноси на смањење укупне цене коју купац плаћа.

Литература

1. Драган Милутиновић, Индустијски работи – Машински факултет, Београд, 2006
2. Влатко Долечек, Исак Карабеговић, Роботика – Технички факултет, Бихаћ, 2002
3. <http://www.automatizacija.1etf.rs> приступљено јануар 2015
4. <http://www.icm.rsrobotikapdfRobotskoZavarivanje.pdf> приступљено јануар 2015
5. <http://www.bastiansolutions.com/blog/index.php/2011/06/13/choosing-between-robotics-integrator-or-manufacturer/#.VM0BfWjF8gE> приступљено јануар 2015
6. <http://www.robots.com/articles/viewing/the-efficiency-of-grinding-robots> приступљено јануар 2015
7. <http://vimeo.com/95862076> приступљено јануар 2015
8. <http://www.jenoptik.com/us-laser-cutting-machines> приступљено јануар 2015
9. <http://www.directindustry.com/prod/tecno-pack-spa/articulated-robots-6-axis-pick-and-place-the-food-industry-97643-897511.html> приступљено јануар 2015
10. <http://www.allonrobots.com/welding-robots.html> приступљено јануар 2015
11. <http://www.photographersdirect.com/buyers/stockphoto.asp?imageid=1025242> приступљено јануар 2015
12. <http://www.abb.com/cawp/seitp202/839992b0110e05f54825790c002a5085.aspx> приступљено јануар 2015
13. <http://www.arburg.com/media-centre/picture/products-and-services/> приступљено фебруар 2015
14. <http://new.abb.com/products/robotics/robotstudio> приступљено фебруар 2015
15. http://www.logicdesign.com/industrial_robotics.php приступљено фебруар 2015
16. <http://www.staubli.com/en/robot-solution-application/painting-robot/> приступљено фебруар 2015
17. <https://www.motioncontroltips.com/updated-trends-electric-motors/> приступљено август 2015
18. <https://www.electromate.com/products/servo-motors/nema-brushless-servo-motors/> приступљено август 2015
19. https://en.wikipedia.org/wiki/Strain_wave_gearing приступљено децембар 2010
20. Yaskawa Electric Corporation, Yaskawa Sigma 7, каталошка документација, 2015