

Българска академия на науките
Институт по информационни и комуникационни технологии
Секция: „Вградени интелигентни технологии“

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Н А

Д И С Е Р Т А Ц И Я

за получаване на образователна и научна степен „ДОКТОР“

автор: **маг. инж. Стефан Карастанев**

Тема:

РЕИНЖЕНЕРИНГ НА ИНДУСТРИАЛНИ РОБОТИ

научна област:

5. Технически науки

професионално направление

5.2. Електротехника, електроника и автоматика

научна специалност: **“Автоматизирани системи за обработка на информация и управление”**

научен консултант: **проф. д-р Димитър Неделчев Карастоянов**

Българска Академия на Науките – София, 2019

1. Обзор, анализ и систематизация на мехатронни роботизирани системи

Думата “мехатроника” е създадена през 1969 г. от инженер във фирмата “Яскава” – Япония. През 1971 е направена търговска регистрация, от която фирмата се отказва през 1982 след широкото разпространение на термина. Първоначално, а и досега при по-повърхностно и консервативно тълкуване, терминът се е възприемал като устройство с механична и електронна част. Сред многото тълкувания е придобило гражданственост определението, че мехатрониката е интеграция на машинно инженерство с електроника и интелигентно компютърно управление при проектиране и производство на изделия и технологии.

Терминът “робот” има славянски произход. Образуван е от чешката дума “robota”, която означава тежък и непосилен труд. С него чешкият писател К. Чапек през 1920 г. назовава в пиесата “R.U.R” (Росумски универсални работи” механичните работници, помагащи на човека. Роботите са обрисувани като инженерен продукт, сравним с човека в механично и интелектуално отношение.

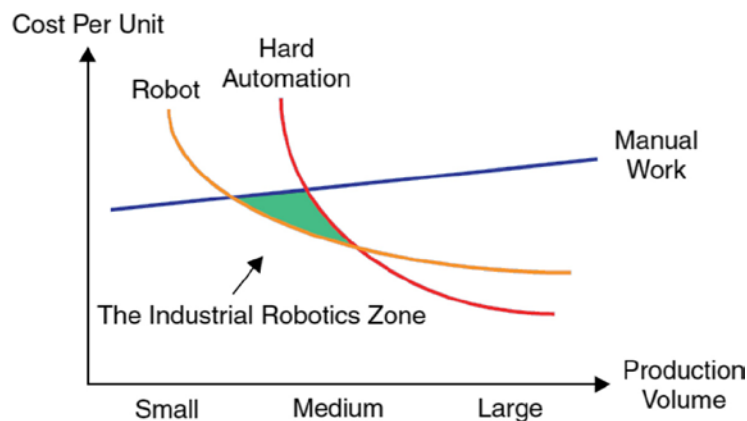
Основните области на приложение на роботите са според извършваните от тях видове дейности, а именно:

- спомагателни – обслужване на машини и оборудване, товаро-разтоварни работи;
- основни – заваряване, монтаж, покрития, рязане, шлифоване, лазерна обработка;
- транспортни – пренос между машини, в технологична линия, в рамките на цеха, извънцехов транспорт, поддръждане;
- изследователски, разузнавателни, аварийно-спасителни;
- медицински, битови, обслужващо-развлекателни.

Едно световно разпространено определение за робот е:

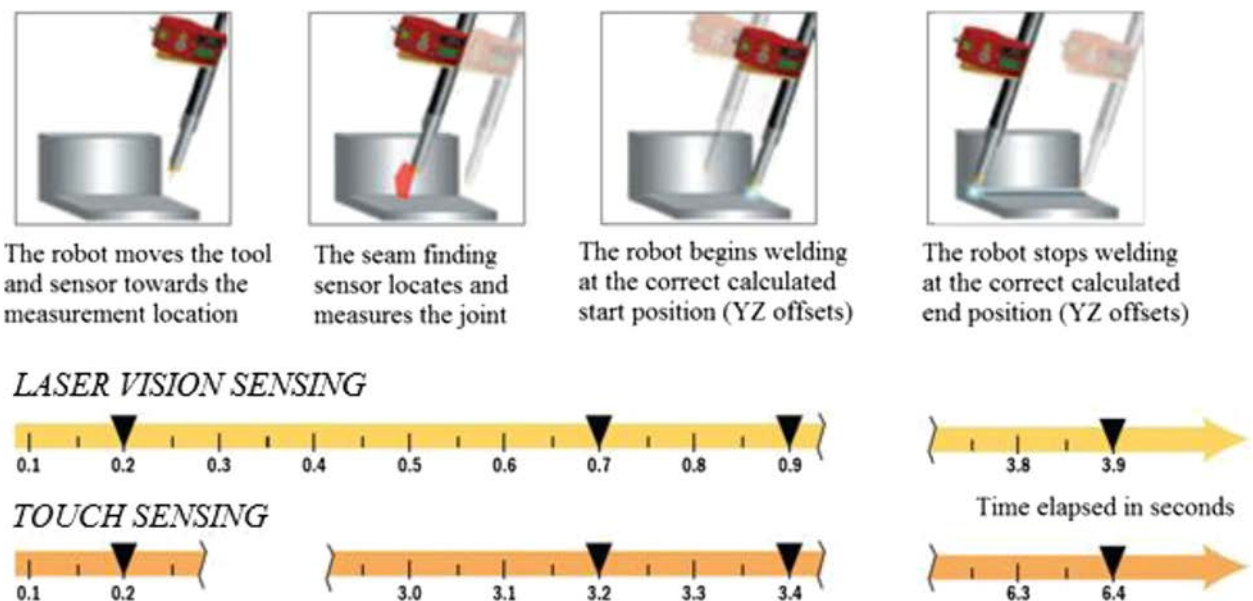
“Роботът е препрограмируем, мултифункционален манипулатор, предназначен да пренася материали, детайли, инструменти или специални устройства чрез различни програмирани движения за извършване на разнообразни дейности”.

Заваряването е неразделна част от модерното промишлено производство и роботизираното заваряване се счита за основен символ на модерната заваръчна техника. Фигура 1 показва основните зони на роботизираната система за дъгова заварка.



Фиг. 1. Зона на роботизираното заваряване

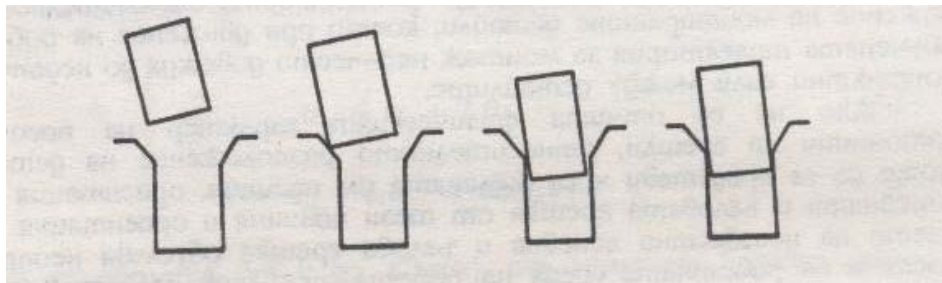
За адаптиране към неточности в габаритите на заваряваните детайли, както и при неточности в позиционирането им, се прилагат различни видове сензорни системи и адаптивно следене на заваръчния шев. На фиг. 2. е показано сравнение между лазерна визуална и тактилна сензорна система за откриване на заваръчен шев и заваряване.



Фиг. 2. Сравнение между лазерна визуална и тактилна сензорна система за откриване на шева и заваряване

Монтажът на машиностроителни изделия, представляващи най-често твърди тела, е геометричен проблем, изискващ точно позициониране. Ако монтираните детайли са изработени с необходимата точност, и ако хващачите и позициониращите устройства са също точни, задачата за съвместяване на детайлите се свежда до задача за траекторно управление на монтажния робот.

Според изследвания на учени близо 60% от монтажните операции в машиностроенето могат да бъдат определени или сведени до монтаж на вал в отвор. За простота и поради осовосиметричност на детайлите, разглежданията могат да бъдат направени в равнината, фиг. 3.



Фиг. 3. Основни фази на монтажната операция “вал-отвор”

Роботизирани системи за обслужване на металообработващи и металорежещи машини свеждат до минимум времето за зареждане и разтоварване на детайли, като напълно автоматизират процеса. Роботизираното обслужване включва по-висока скорост, прецизност и повтораемост на операциите в сравнение с ръчното обслужване от човек асистент.

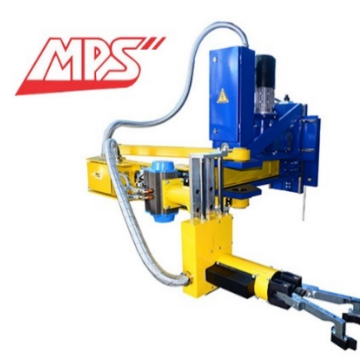
На фиг. 4 са показани серия манипулатори **MPS** на фирма **СПЕСИМА ООД** за работа с машини за леење и полутечно щамповане.



Дозиращ манипулатор



Обмазващ манипулатор



Манипулатор – екстрактор

Фиг. 4. Обслужващи манипулатори на фирма СПЕСИМА

За изясняване на нуждата, целите и задачите при реинженеринг на индустриални работи ще бъде извършено следното:

- Анализ на развитието на съвременната индустриална универсална роботика (ИУР)
- Изследване на внедряването на ИУР във водещи индустриални райони
- Изследване и класификация на основните параметри и приложения на ИУР
- Основни системи на ИУР
- Реинженеринг на индустриални универсални работи

- Подбор на индустриален робот за реинженеринг

От направения анализ се установи, че множеството на индустриалните универсални работи значително се ограничава, ако бъде определена тяхната структура. Множеството изследвания върху съществуващите индустриални работи показват една явна тенденция към **налагане на роботите с антропоморфни структури**, независимо от по-големите трудности при тяхното управление. Това се дължи преди всичко на конструктивните, технологичните и експлоатационните предимства на *R-двоиците* пред *P-двоиците*.

В заключение може да се обобщи, че най-подходящият *ИУР* за рециклиране е роботът *KUKA KR150* на германската фирма *KUKA*, тъй като отговаря на поставените изисквания за: функционални възможности; антропоморфна структура; степени на подвижност; пространствени движения; параметри на механичната и на задвижващата система; товароносимост; елементите на управляващата система; типа на управления; точността на позициониране и повтораемост.

Основна цел на дисертационния труд е:

„Реинженеринг на индустриални универсални работи (ИУР) втора употреба чрез реновиране на механиката, изграждане на нови електроника и софтуер, тестване на роботизираната система и внедряване в нови индустриални приложения”.

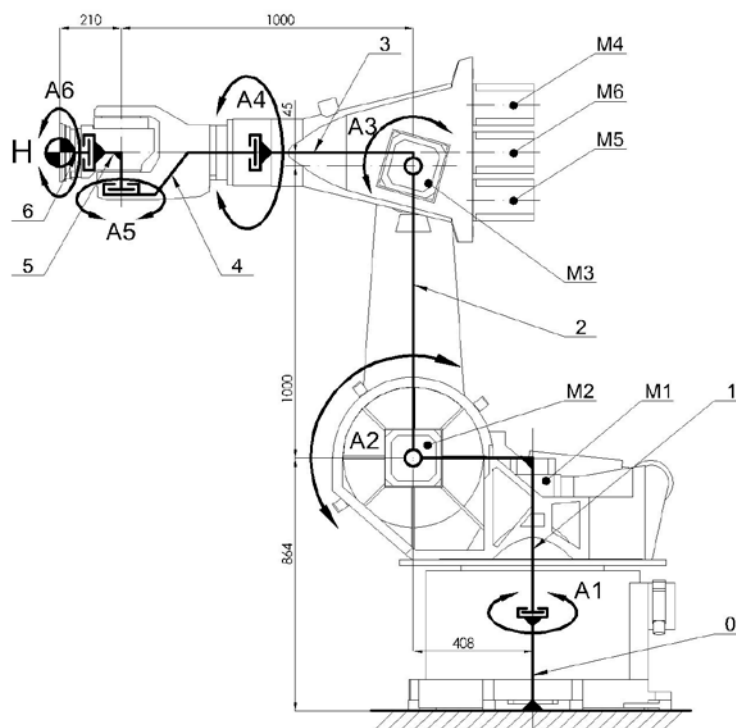
За изпълнение на целта ще се решат следните задачи:

1. Обзор, анализ и систематизация на мехатронни роботизирани системи
2. Подбор на типопредставител на ИУР за реинженеринг
3. Изследване на механиката, електронката и софтуера на *ИУР*
4. Създаване на методики за изследване на *ИУР*
5. Създаване на концепция за цялостен реинженеринг на избрания *ИУР*
6. Изграждане, тестване и верификация на модернизирания *ИУР*
7. Оптимизация на програмирането и добавяне на иновативни модули

2. Изследване на механика, електроника и софтуер на ИУР

Съгласно заложените цели и поставените задачи се определят кинематичните и динамичните характеристики на избрания типопредставител на *ИУР* (*индустриален универсален робот*), обект на реинженеринга. В заложената за изпълнение дейност е фокусирано вниманието върху механичната система на робота, като основен елемент от нея е изпълнителният механизъм, осъществяващ транспортиращи и ориентиращи движения. В *ИУР*

изпълнителните механизми се отличават със сравнително проста структура и гъвкаво програмиране, но имат и по-сложна управляваща система. На *фиг. 5* е показана кинематичната схема на избрания типопредставител на ИУР - KUKA KR 150.



Фиг. 5 Кинематична схема, внесена в корпуса на робот KUKA KR 150

Бяха посочени основните предизвикателства пред роботизирани системи (РС) и ИУР в частност, които са: тяхното моделиране, параметрична идентификация, управление и оптимизация.

В текущата дейност беше представено изследване на динамичен модел за манипулационни РС. Като типичен техен представител беше разгледан избраният и изследван модел – универсален индустриален робот KUKA KR 150 с шест степени на свобода. Основната функция на такива РС е да могат да преминават от една конфигурация в друга, затова от особена важност за тях е да могат да бъдат управлявани прецизно, по всяка една от осите, с помощта на децентрализирани контролери.

Целта на изследването е използвайки общите физически принципи, да се намерят структурите на пълните динамични модели, които са подходящи и за двете цели: точна идентификация на параметрите и оптимално проектиране на управлението. В настоящото изследване е използван детерминистичен подход за идентификация на параметрите, който е по-прецизен и по-ефикасен, след оценка на параметрите стъпка по стъпка, в съответствие с реда на входно-изходните релации в изследвания УР.

В дейностите от настоящата задача са изследвани особеностите, видът и типът на хардуерната система за управление и използваният софтуер на избрания типопредставител и ел. характеристиките на двигателите, сензорите за обратна връзка и сервозадвижванията.

На *фиг. 6 и 7* са показани изследваното табло за управление на *KUKA KR 150* робот, комплект с панел за ръчно управление.

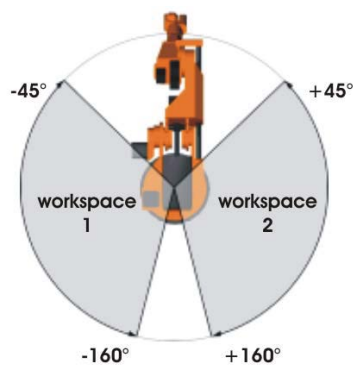


Фиг. 6 Табло за управление на *KUKA KR 150* **Фиг. 7** Панел за ръчно управление на *KUKA KR 150*

Софтуерното осигуряване на роботите KUKA – KSS отговаря за всички основни процеси и функционалности, свързани с управлението на роботите, които са:

- едновременно управление на двигателите на отделните звена на робота при изграждането на траектория на движение по зададени координати на точките за крайния ефектор;
- управление на входовете и изходите на контролерите от хардуерната система на робота;
- управление на файловата система, оперативната и неоперативна памет на робота, за изпълнение на заложените програмни функционалности;
- осигуряване на надежден и достъпен за потребителя HMI (Human-machine interface).

Допълнителна възможност в софтуерното осигуряване на изследвания *УР* е и въвеждането на ограничения само за определени оси (фиг. 8), според спецификата на извършваните работни движения и кинематичните ограничения на робота.



Фиг. 8 Пример за въвеждане на ограничения за движенията на робота по определени оси

3. Създаване на методики за изследване на ИУР

Основната цел, поставена за изпълнение е разработването на методики за иновативно модернизиране и ново специфично приложение на избрания типопредставител на ИУР в нови области - например леярската индустрия, дъговото заваряване и др.. Методиките са разработени и тествани успешно върху избрания робот. В следващите редове са представени трите разработени методики на избрания типопредставител на ИУР както следва:

- за механичните компоненти,
- за хардуерното оборудване,
- за софтуерното управление.

В първия етап от методиката избраният типопредставител на ИУР се инспектира за външни дефекти и нарушени основни функционални характеристики, което се налага заради работата на робота при определени технологични условия от досегашната му експлоатация.

Следващите дейности след визуалния оглед са както следва:

- Проверка на детайли, възли и компоненти за функционално/техническа изправност
- Изследване на хлабините в редуциращите предавки и лагерните възли във всяка една от осите на робота
- Оценка на извършеното изследване и подготовка за реинженеринг на изследвания типопредставител на ИУР

След извършеното изследване на хардуера на избрания типопредставител на ИУР, се пристъпва към разработване на методика за проверка за функционалност на хардуерната конфигурация и за съответствие на техническите параметри, заложи в нея. Към методиката са предявени следните изисквания:

- максимално отразяване на технологичния цикъл на изследвания робот;

- еднозначност на измерваните параметри;
- достоверност на проверката;
- максимален обхват на проверяваните параметри;
- осигуряване на стандартни базови условия за измерванията и проверките.

На база тези изисквания е изградена методика за изследване на хардуерната конфигурация на избрания типопредставител на ИУР както следва:

- Визуална инспекция на основни хардуерни компоненти на изследвания ИУР
- Проверка за къси съединения на основни захранващи модули
- Проверка за съответствие на захранващото напрежение на таблото за управление
- Проверка на свързването и функционалността на серводвигателите на работа

Изследването на софтуера на избрания типопредставител на ИУР KUKA KR 150 е основно свързано с определянето на характеристиките и функционалността на системата за управление. Разработената и тестваната успешно методика е представена по-долу:

- Обща инспекция за функционалността на софтуерното и системното осигуряване
- Проверка на основни функции за съставяне на управляващи програми и режими

Създаване на концепция за цялостен реинженеринг на избрания типопредставител на ИУР:

След изследването на механиката и задвижванията, и след привеждането им в работоспособен вид за нуждите на новата сфера на употреба, се предвижда следното:

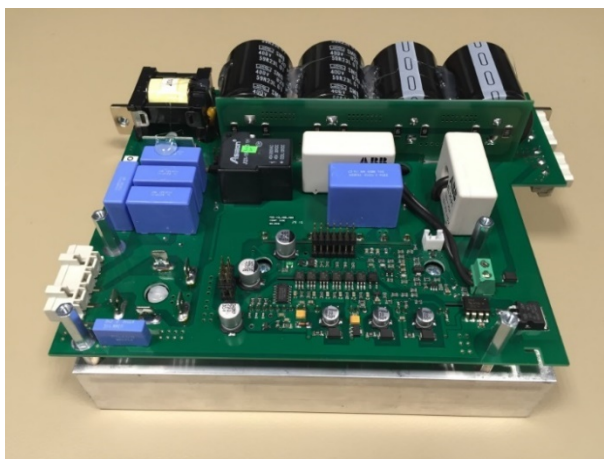
- целесъобразно е да се изгради нова хардуерна система за управление, с която роботът да бъде ефективно пренасочен към новото си индустриално приложение;
- комуникацията, интерфейсът и елементите от хардуерната конфигурация трябва да бъдат съобразени с изискванията (скорост и обем на информацията, с която ще комуникират контролерите, сензорите за обратна връзка и сервозадвижванията, предпазване на данните от паразитни електромагнитни смущения и др.), които са поставени пред избрания типопредставител за работните условия, в които той ще бъде използван - опериране в зоната на автоматизиран лелярски комплекс като екстрактор за готовите отливки;
- необходимо е да бъдат подбрани подходящи сервоуправления и контролери, които да отговарят на изискванията за скорост на обработка на информацията при контрола на сервозадвижванията и при решаването на правата и обратната задача в кинематиката за управлението на шестте оси на работа.

Хардуерната система на избрания типопредставител на робот KUKA KR-150, обхваща следните основни компоненти:

- сервопреобразувател;
- промишлен контролер;
- комутационна апаратура;
- електрическо табло за управление, с описаните по-горе компоненти;
- операторски и ръчен пулт за управление;
- свързващи кабели.

Сервопреобразувателите са реализирани от следните модули – фиг.9:

- силов блок;
- блок за управление;
- модул за резолверна система;
- блок за охлаждане;
- механична конструкция.



Фиг. 9 Силов блок на сервопреобразувателя, избран за регулиране и управление на сервомоторите на реинженирания робот *KUKA KR-150*

Блокът за управление на сервопреобразувателя, показан на *фиг. 10*, изпълнява:

- всички функции, свързани с контрола на серводвигателя;
- моделира *ШИМ* за управление на драйверите;
- реализира функциите за комуникация през *RS* входовете;
- управлява и контролира всички електронни защиты;
- показва на монтиран върху платката седем сегментен индикатор състоянието на преобразувателя (вид на грешката, функционално съобщение или статус).

Основната функция на операторския пулт за управление е да осъществява връзката между оператора и избрания типопредставител *KUKA KR-150*, обект на реинженеринг. На *фиг. 11* е показан разработеният операторски пулт за управление на избрания *KUKA KR-150*.



Фиг. 10 Блок за управление на сервопреобразувателя

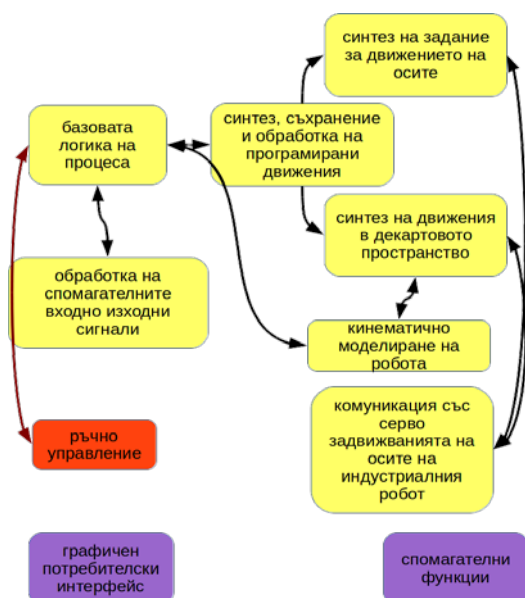


Фиг. 11 Операторски пулт за управление на реинженирания робот KUKA KR-150

Като основна платформа за разработването на приложното програмно осигуряване е използвана програмната среда *Qt*, със съответните инструменти за разработка *QtCreator*, *QtDesigner* и *QtLinguist*.

Изискванията към приложното програмно осигуряване за нуждите на проекта са комплексни и разнообразни и се групираха в следните основни компоненти – фиг. 12:

- модул за комуникация със сервозадвижванията на осите на функционално действащия лабораторен модел на реинженирания робот KUKA KR-150;
- модул за синтез на заданието за движението на осите;
- модул за кинематично моделиране на робота (права и обратна кинематична задача);
- модул за синтез на движения в декартовото пространство;
- модул за обработка на спомагателните входно-изходни сигнали;
- модул за реализация на базовата логика на процеса;
- модул за синтез, съхранение и обработка на програмирани движения;
- модул ръчно управление;
- модул за графичен потребителски интерфейс;
- модул спомагателни функции.



Фиг. 12 Основни модули и взаимодействието между тях в разработвания софтуер

4. Изграждане на модернизирания ИУР

Мехатронният подход (функционален синтез на механичната конструкция на ИУР с хардуерната система и приложния софтуер), който е използван за решаване на настоящата задача се базира на извършване на обратен синтез и монтаж на разработени предварително механична част с хардуерно и софтуерно осигуряване и управление, за ново индустриално приложение на избрания за реинженеринг типопредставител, модел *KR-150*.

Извършени са следните дейности:

Монтаж на всички елементи, включително и крайния ефектор, определящ специфичното приложение на избрания типопредставител на ИУР – фиг. 13:



Фиг. 13 Функционално действащ лабораторен модел на реинженирания типопредставител на ИУР – *KUKA KR-150*, с монтиран към него трипръстов хващач

Асемблиране на хардуерната част на таблото за управление

Съгласно разработените схеми на свързване, се преминава към асемблирането на таблото за управление, което е извършено в няколко стъпки:

- подготвителни процеси преди насищането със защитна и комутационна апаратура, сервоуправления и комуникационен модул на монтажна плоча за таблото за управление;
- насищане със защитна и комутационна апаратура, сервоуправления и комуникационен модул на металната монтажна плоча за таблото за управление;
- монтаж на механични, електрически и електронни елементи и компоненти в таблото за управление;
- контрол на изправността на таблото за управление;

Свързване на сервоуправленията в таблото за управление с механичната част на реинженирания робот и конфигуриране на сервозадвижванията

Сервомоторите за всяка ос на робота имат следните електрически връзки с ел. таблото:

- силово захранване на сервомотора;
- захранване на спирачката на сервомотора;
- свързване на резолвера.

Всички електрически връзки са реализирани по начин, който:

- разрешава разделяне на реинженирания робот и таблото за управление, с цел удобство при транспортиране;
- лесно и бързо разкъсване и свързване на всички електрически вериги при демонтаж и последващ монтаж;
- еднозначно определяне на електрическите вериги, което да гарантира последващото им свързване, по същия начин, каквито са били преди демонтажа;
- гарантира качествено и надеждно свързване на всички електрически вериги;

Сервопреобразувателите са предназначени за управление на скорост, позиция и въртящ момент на серводвигатели (безколекторни синхронни двигатели с постоянни магнити). В зависимост от заданието за управление могат да се програмират и да изпълняват няколко режима на работа.

Софтуер за конфигуриране и свързване към сервозадвижването

Свързването на сервозадвижването към персонален компютър (PC) и основните инструкции за настройка с използване на ConfigMaster софтуер, са описани по-долу. За тази цел е необходимо потребителят да се запознае със следното:

- свързване на сервозадвижването към PC;

- настройка на параметрите;
- съхранение на параметрите.

Стъпките за конфигуриране на софтуера са следните:

1. Инсталира се софтуерът (ConfigMasterRedistInstaler.bat) на PC или лаптоп.
2. Свързва се RS-232 комуникационен порт на PC към сервозадвижването CN2.
3. Свързва се обратната връзка от двигателя (резолвера) към обратна връзка CN4.
4. Свързват се силовите кабели на мотора към сервозадвижването.
5. Подава се захранване към сервозадвижването.
6. Стартира се ConfigMaster.exe.

Свързване на таблото за управление с пултовете за управление и сензорната система

Операторският пулт за управление е монтиран в метална кутия със метални крак, стойка и основа за базиране, в която са асемблирани PLC контролер, разширителен модул за PLC контролер, „touchscreen“ дисплей ELO ET-1541L и захранване. В металната кутия на операторския пулт е предвидена стойка за ръчния пулт за управление, който чрез двата си основни модула – приемник и предавател, комуникира с управлението на робота, чрез Wi-Fi.

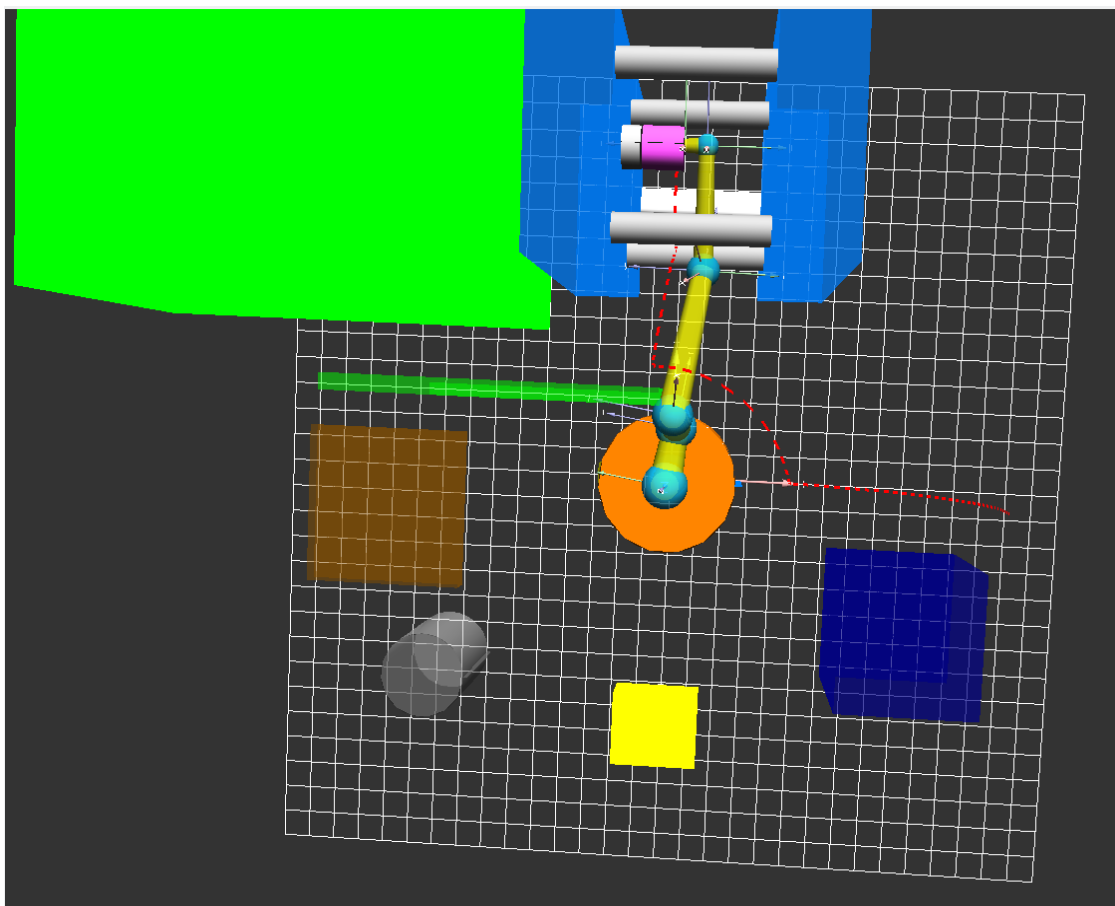
Тестване на функционалността на софтуера

Тестването на функционалността на програмното осигуряване е разделено на два основни етапа – тестване на базовите програмни модули и тестване на потребителските програми за движение на робота в пространството, и на ставите на робота в декартовото пространство, както и изпълнението на базовата машинна логика.

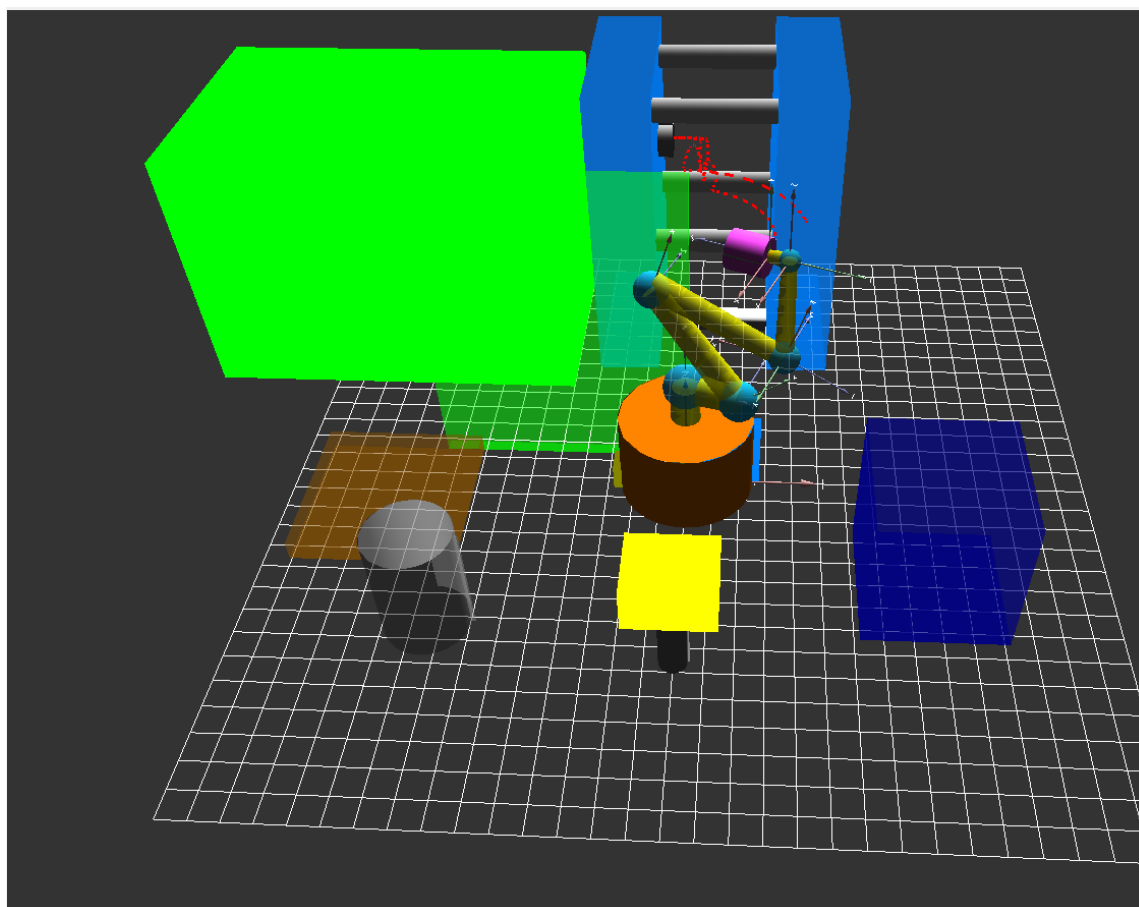
Тестване на потребителските програми за движение на робота в пространството на ставите на робота и в декартовото пространство, както и изпълнението на базовата машинна логика

За целите на разработката, освен основното програмно осигуряване е разработен и симулационен програмен пакет за проектиране и предварително тестване на потребителските програми, както и за тестване на плъгините за машинна логика с работно наименование **KukaSim**. Разработения пакет предоставя инструменти за изграждане на виртуална *3D среда*, в която могат да се пресъздават с максимална близост до реалността всички движения на робота в пространството на неговите стави, а така също и в декартовото пространство.

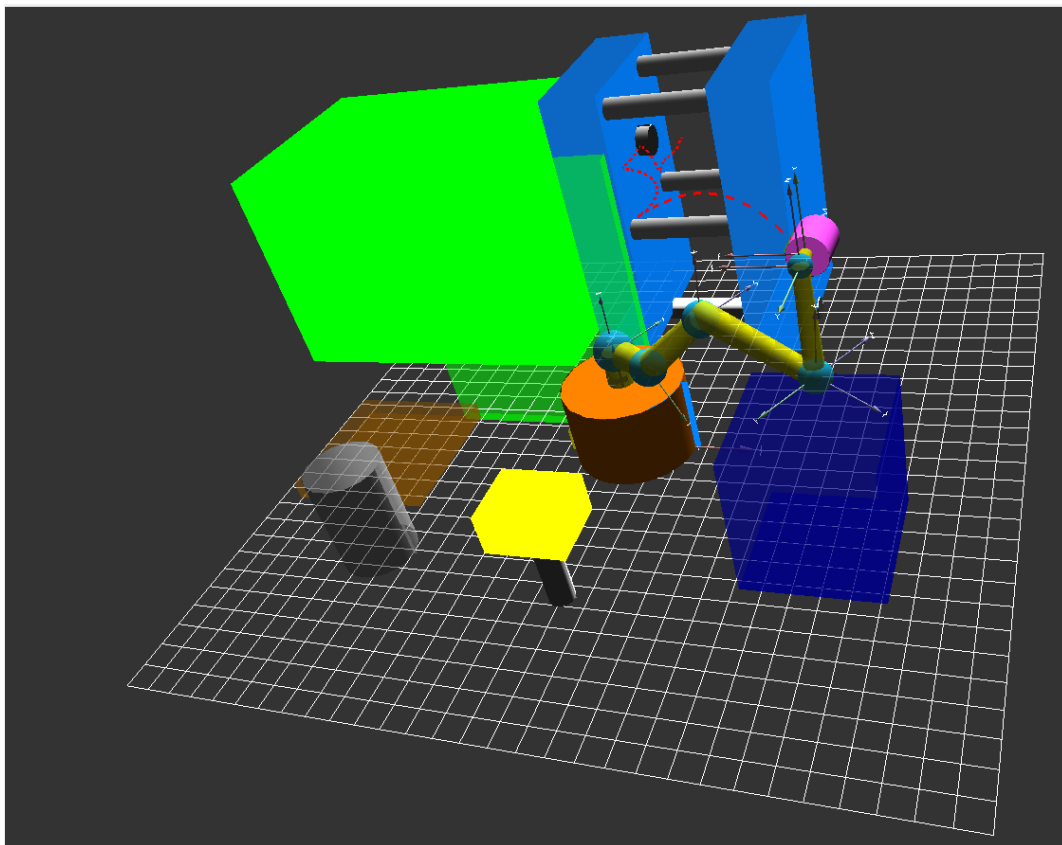
Общ изглед на програмата, със зареден сценарий и обкръжение е показан на *фиг. 14 - 21*.



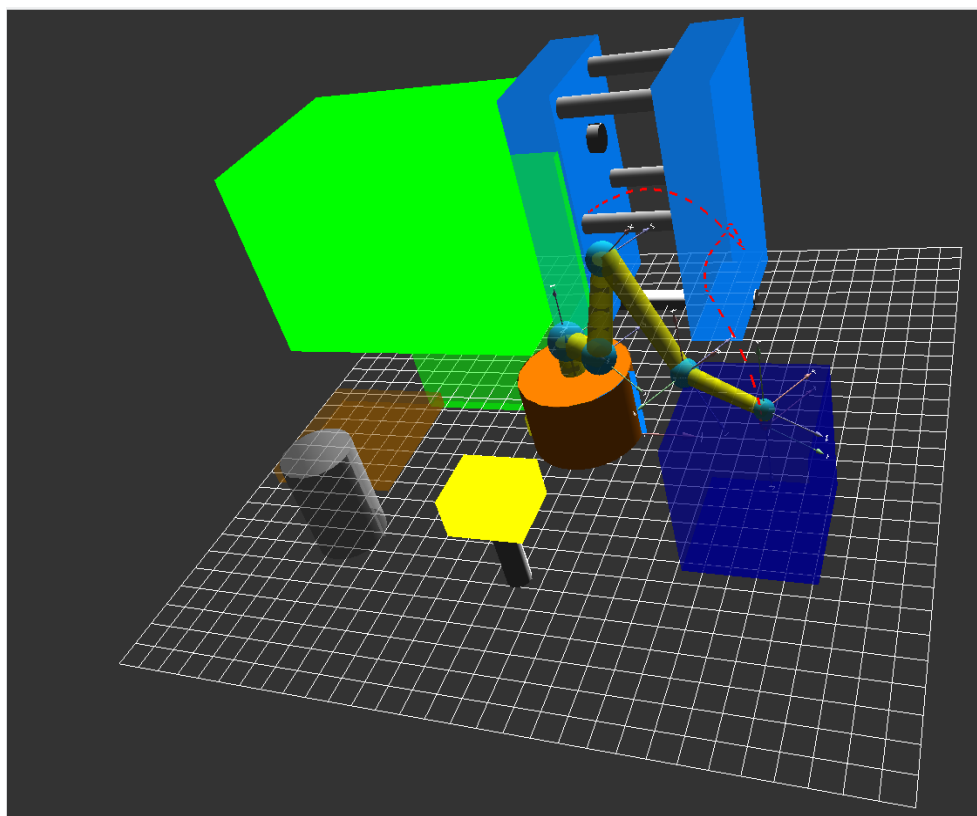
Фиг. 14 Фаза - изваждане на детайл



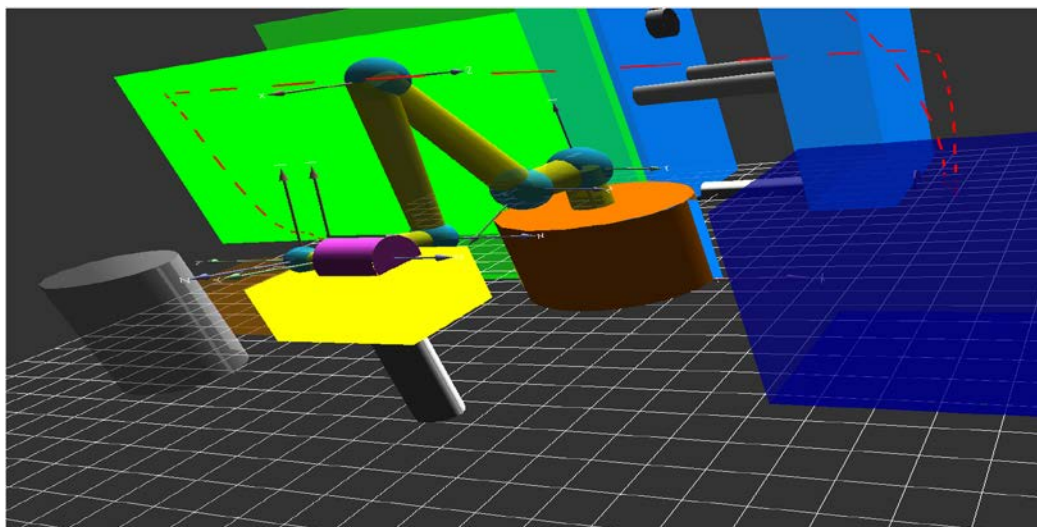
Фиг. 15 Фаза - изход от работната зона на машината



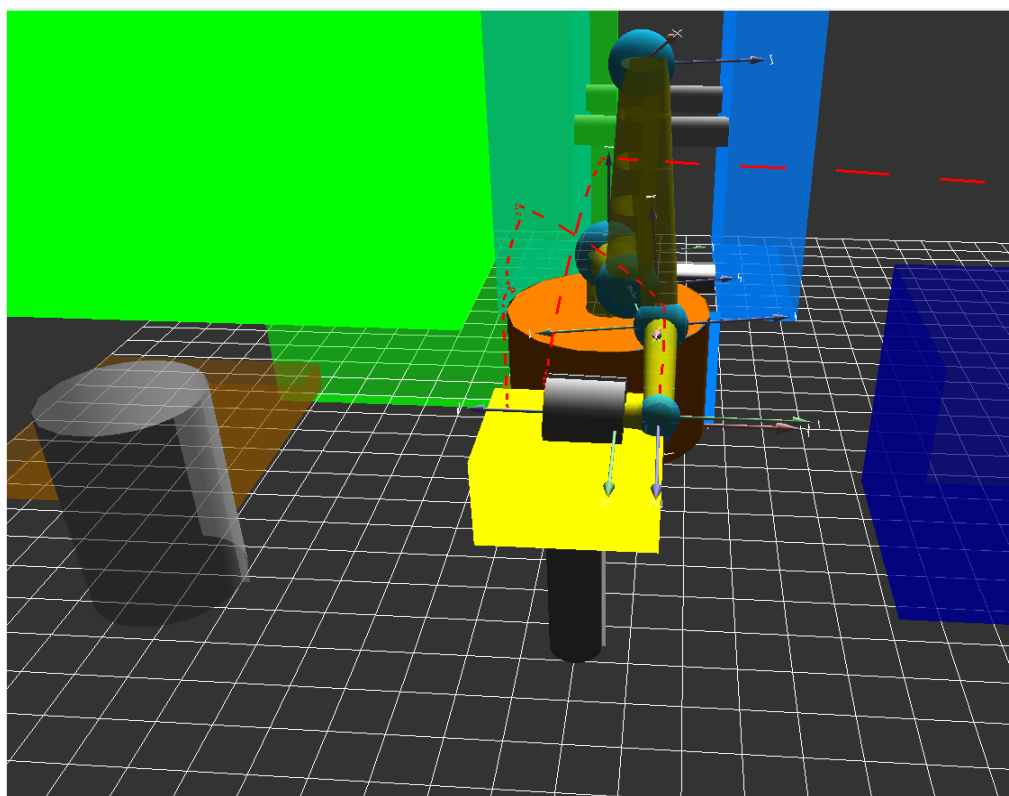
Фиг. 16 Фаза - проверка на детайл



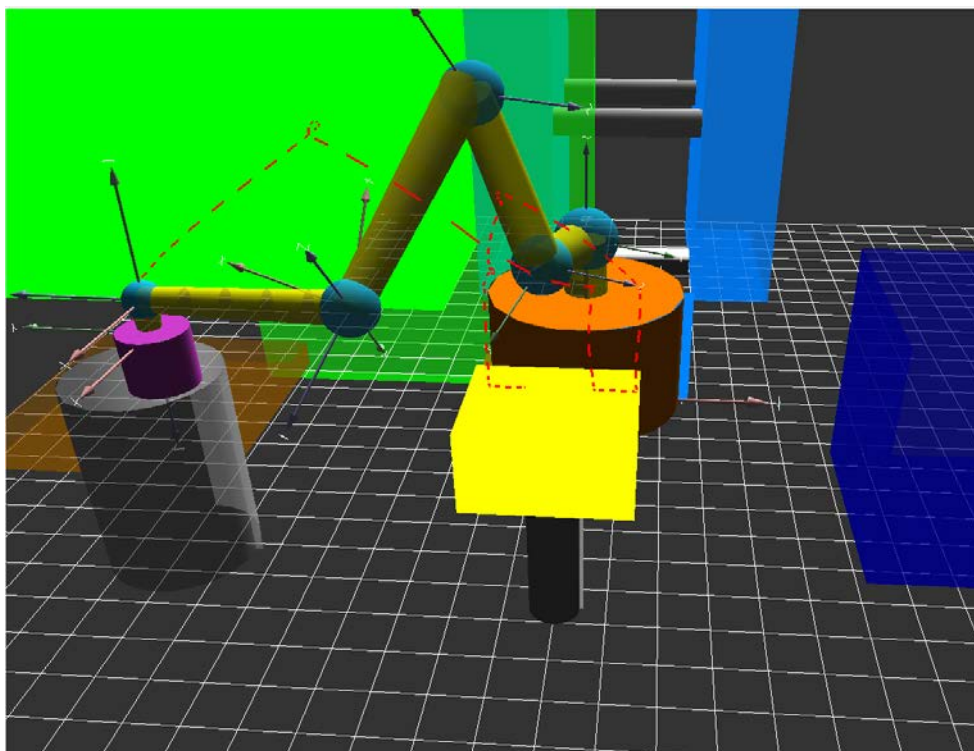
Фиг. 17 Фаза - охлаждане



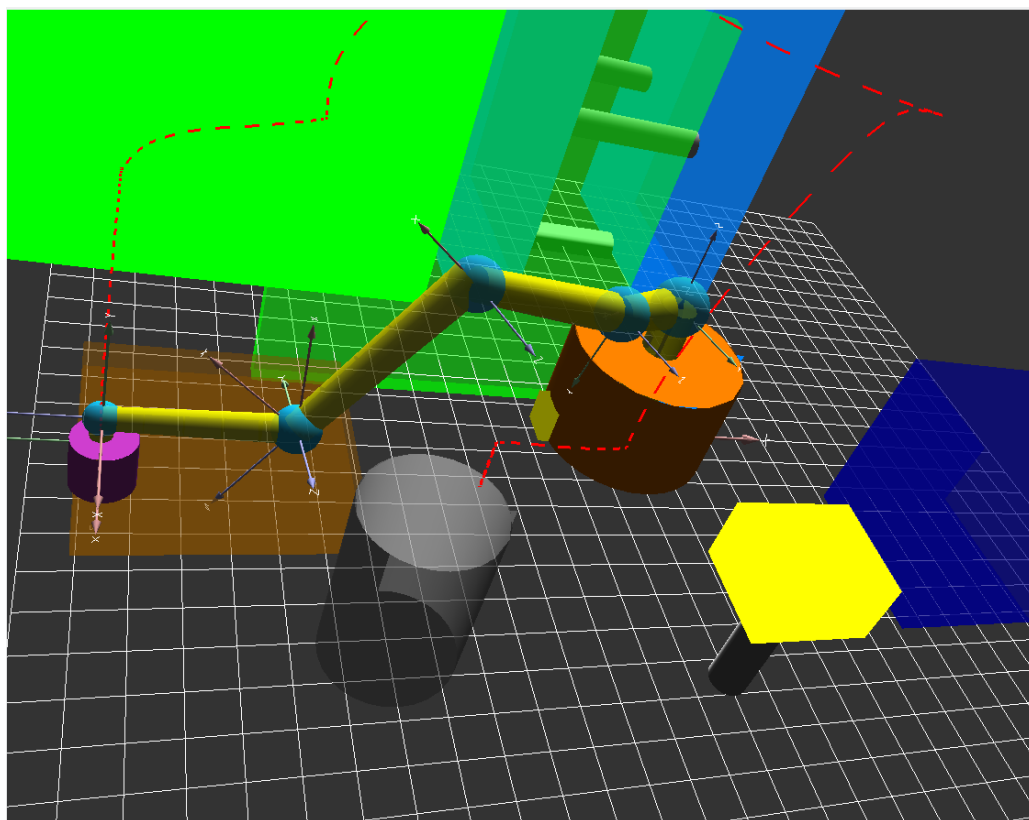
Фиг. 18 Фаза - ребазирание 1



Фиг. 19 Фаза - ребазирание 2

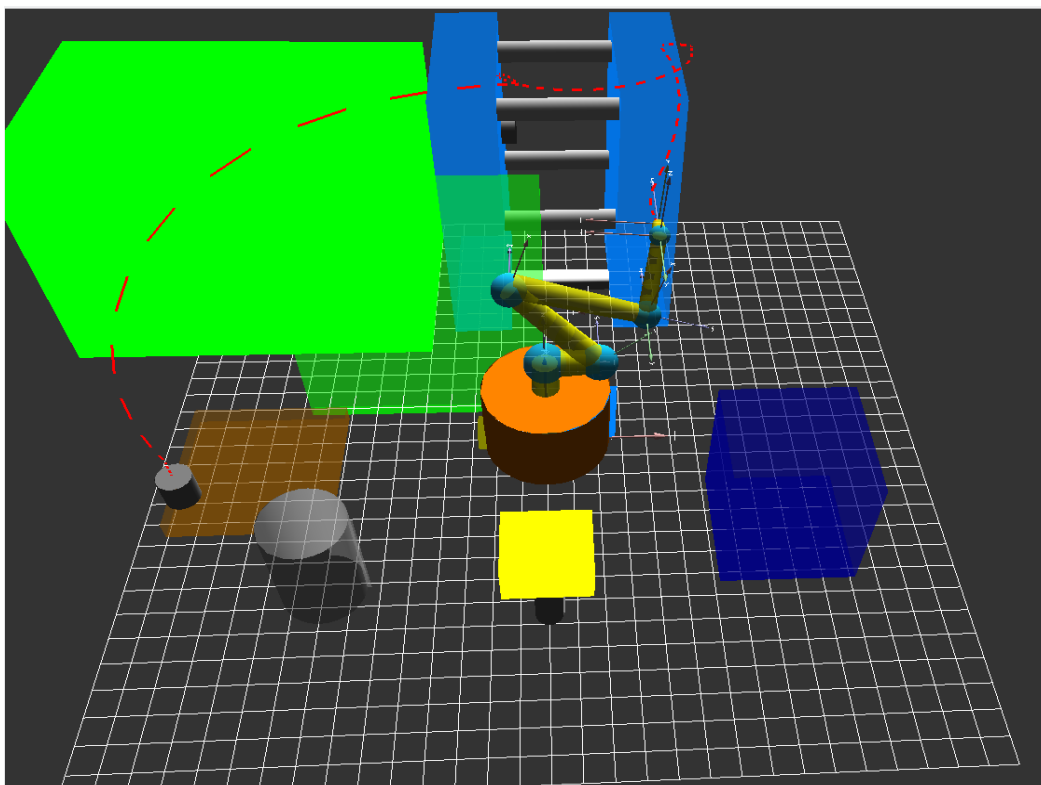


Фиг. 20 Фаза - шанцоване



Фиг. 21 Фаза - подреждане готова продукция

След преминаването на симулационните тестове на движенията, потребителската програма и машинната логика, са извършени и тестове на реално функциониращ опитен образец-фиг.22.



Фиг. 22 Тест на реално функциониращия опитен образец

Реинженираният ИУР е изследван цялостно – механика, задвижвания, сервоуправление, динамика, хардуер, сензорика, софтуер и комуникации.

4. Верификация на методиките за реинженеринг вследствие на извършените дейности

Като следствие на задачата за реинженеринг на универсални работи (*PVP*) е синтезирана система за управление на *индустриален универсален робот* (ИУР), която се характеризира с висока степен на сложност. Изследването на такава сложна и комплексна система наложи разработването на методики за детайлно изследване на отделните възли, като крайната цел е удостоверяване на надеждно функциониране на цялата система. Такива методики са създадени по време на изследването на елементите, като сензорна система, сервозадвижвания, захранвания, интерфейс за връзка с външни устройства за осъществяване на взаимодействия с обкръжаващите машини и съоръжения, за осъществяване на необходимия производствен или друг процес. Детайлните методики, са насочени към елементарно, но сигурно тестване на определените модули или блокове. Те предоставят възможност за извършването на различни операции при начално пускане след производство или ремонт на системата за управление от по-ниско квалифициран технически персонал. В тази връзка е особено важно методиките да бъдат детайлно проверени и верифицирани. Извършени са проверки, по стъпките на създадените методики за окачествяване на възстановената механична конструкция и

разработените хардуерна и софтуерна система за управление на *ИУР*, резултат от извършените изследвания, търсения и синтез за решаване на задачата за реинженеринг.

Верификацията е извършена на база:

- изработените методики за изследване на механичната конструкция, хардуера и софтуера на изследвания типопредставител на *ИУР*;
- извършените изследвания върху обновената механична конструкция и разработения хардуер и софтуер за управление на функционално действащия лабораторен модел на реинженирания робот *KUKA KR-150*.

Извършени са следните дейности:

- Визуална инспекция на механичните компоненти и структурната цялост на функционално действащия лабораторен модел на реинженирания робот
- Изследване на хлабините в редуциращите предавки и лагерните възли във всяка една от осите на работа
- Оценка на извършения реинженеринг на функционално действащия лабораторен модел на реинженирания робот
- Визуална инспекция на основни хардуерни компоненти на изследвания *ИУР*
- Проверка за къси съединения на основни захранващи модули
- Проверка за съответствие на захранващото напрежение на таблото за управление
- Проверка на свързването и функционалността на серводвигателите на работа
- Обща инспекция за функционалността на софтуерното и системното осигуряване
- Проверка на базовите програмни модули на разработения софтуер
- Верификация на потребителските програми за движение на работа в пространството и на ставите на работа в декартовото пространство, както и на изпълнението на базовата машинна логика
- Верификация на математическия модел, имплементиран в софтуера, чрез експериментална проверка на правата и обратната задача на кинематиката

Може да се направи следното заключение: постигнати са поставените задачи, реализирана е висока функционалност на работа и възможност за адаптиране към различни приложения.

6. Оптимизации и иновации при реинженеринг на индустриални роботи

СИСТЕМА ЗА 3D СИМУЛАЦИЯ И OFFLINE ПРОГРАМИРАНЕ

При изграждането и програмирането на роботизирани системи за автоматизация неocenимо предимство е възможността за предварително тестване на цялостната система в

рамките на виртуална среда, която дава възможност за безопасно откриване на потенциални грешки и пълна проверка на логиката и извършваните от ИУР движения.

За решаването на тази задача е разработена специализирана система за симулация и 3D визуализация. Основно предимство на тази система е работата и с реалните модули за реализация на машинната логика, такива каквито работят и на реалната система за управление. Единствената разлика е компилацията за процесорната архитектура на която работи средата за симулация. В конкретния случай модулът за машинна логика е компилиран за архитектура **x86_64**, докато в реалната система този модул е компилиран за архитектура **armv7**.

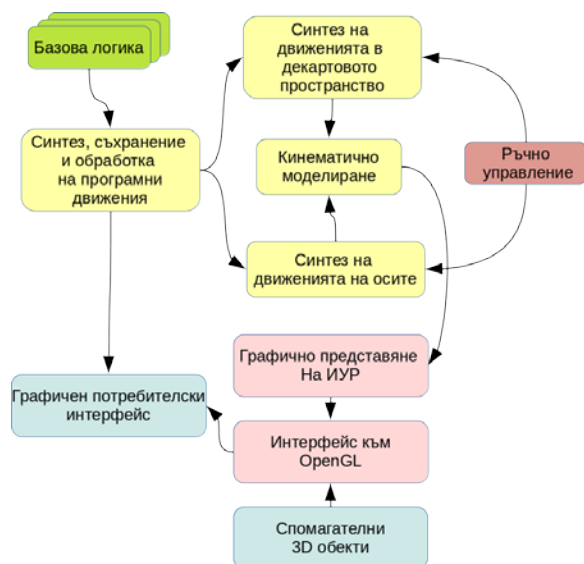
Системата за симулация е изградена от следните основни модули:

- Базова логика - този модул представлява пълно копие на ниво изходен код на съответния модул в реалната система за управление. Проектиран е като динамично зареждащ се програмен блок и реализира основната логика на процеса. Зарежда се този код, който отговаря за конкретната реализация (например логика за обслужване на машина за леене на алуминиеви детайли, система за палетизация и т.н.)
- Синтез, съхранение и обработка на програмни движения - статично реализиран аналогично на реалната системата
- Синтез на движенията в декартовото пространство - статично реализиран аналогично на реалната системата
- Синтез на движенията на осите - статично реализиран аналогично на реалната системата
- Кинематично моделиране - статично реализиран аналогично на реалната системата
- Графично представяне На ИУР – този модул генерира графично представяне на индустриалния робот във вид подходящ за 3D визуализация чрез OpenGL библиотеката
- Графичен потребителски интерфейс – реализира голяма част от функциите, реализирани в реалната система за управление, като освен тях предоставя необходимите функции за графичното изграждане на цялостната 3D сцена, структурирането на цялата информация под формата на проект (3D сцена, потребителска програма, параметри на индустриалния универсален робот и неговото графично представяне)
- Спомагателни 3D обекти – позволява въвеждането и редактирането на спомагателни обекти във виртуалната сцена, като поддържа основни примитиви (куб, конус, цилиндър, сфера), както и предварително моделирани 3D обекти, чрез формата STL.

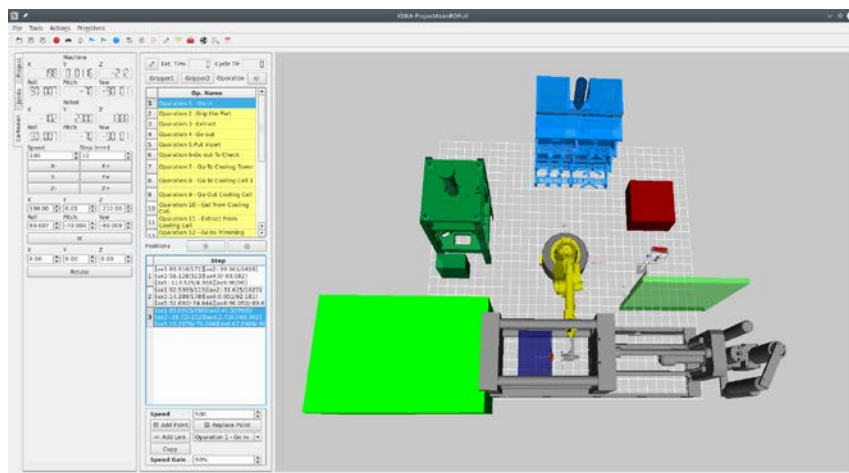
- Ръчно управление – предоставя интерфейс за директна работа с разработения и подаден за патент пулт за ръчно управлени

Блоковата схема на на системата за симулация е фигура 23.

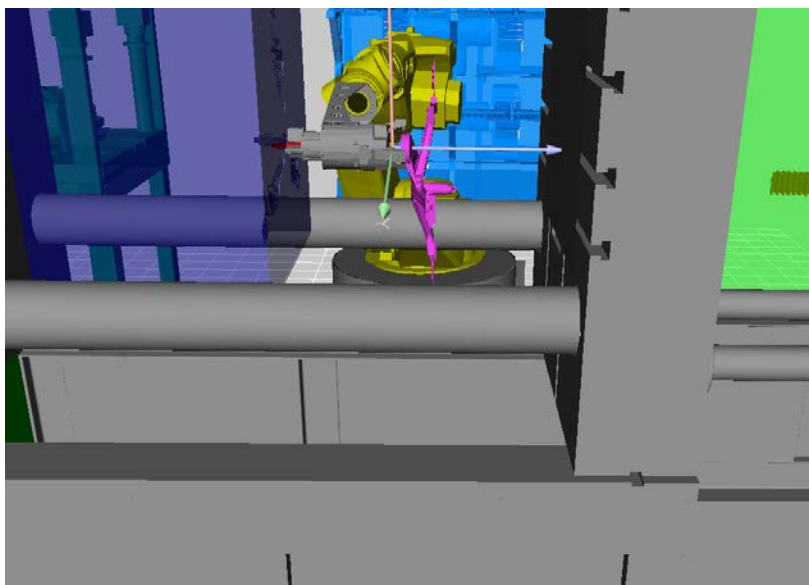
На фигури 24, 25, 26 и 27 е показана симулация на леярска клетка с голяма степен на автоматизация.



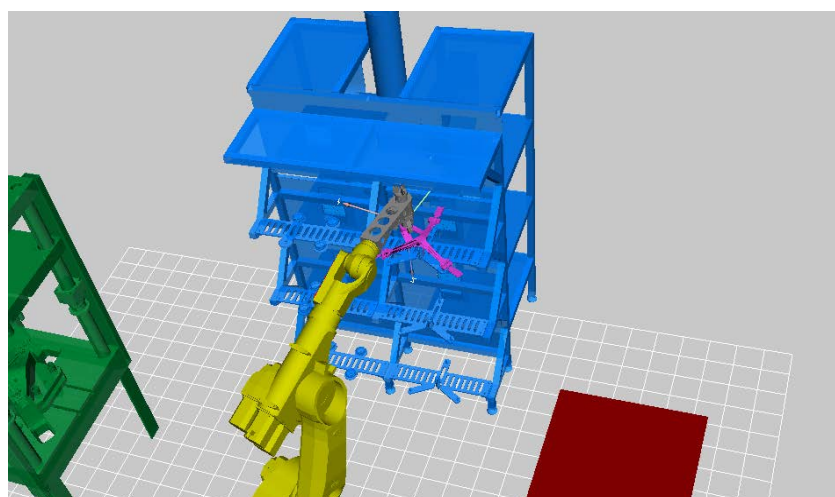
Фиг. 23 Блокова схема на система за симулация



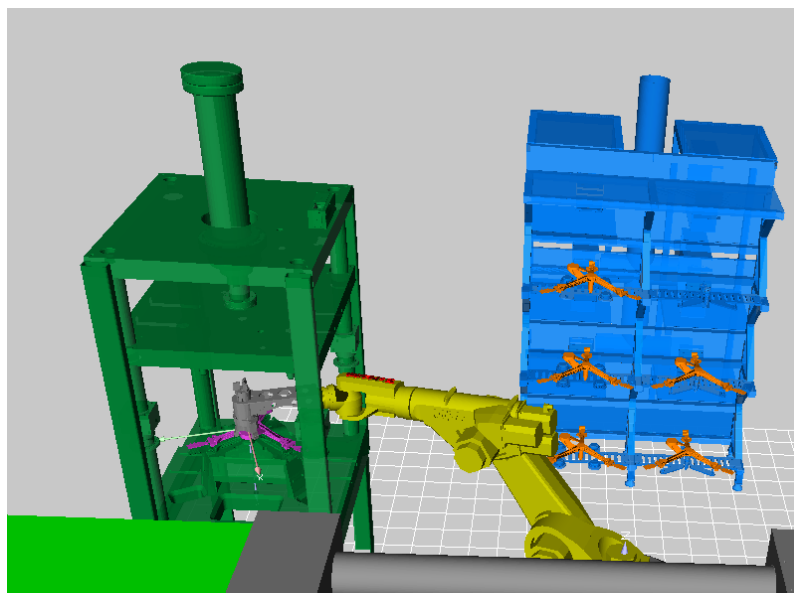
Фиг. 24 Симулация на леярска клетка с голяма степен на автоматизация



Фиг. 25 Поставяне на спомагателен детайл във формата

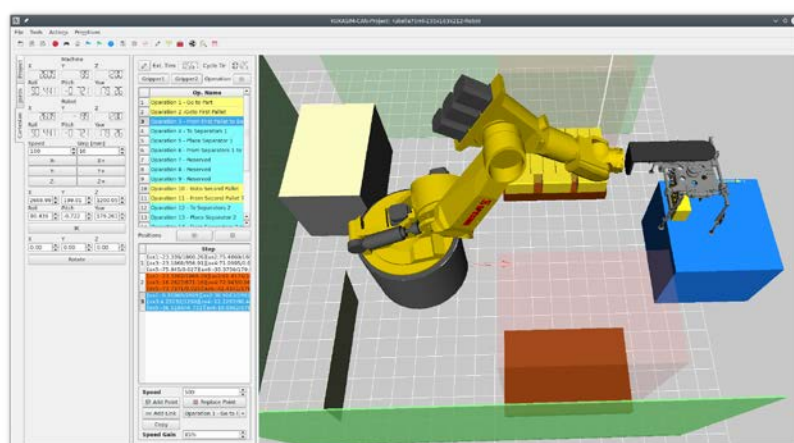


Фиг. 26 Подреждане на детайлите в охлаждащ шкаф



Фиг. 27 Поставяне на детайл в обрязваща преса

На фигура 28 е показана симулация на палетизиращ робот.



Фиг 28. Симулация на роботизирана палетизираща клетка

БЕЗЖИЧЕН ПУЛТ ЗА УПРАВЛЕНИЕ

Във връзка с работата по дисертацията и по реинженеринга на индустриални работиш е регистрирана заявка за патент „Безжичен пулта за управление“:

Техническа същност на изобретението

Задачата на изобретението е да се създаде безжичен пулт за управление на леярски роботи/манипулатори, който подобно на известните пултове има възможност да подава управляващи сигнали към системата за управление, да следи системите за сигурност и да предоставя визуална и звукова информация на оператора, но с възможност да съчетава

плавното управление на скоростта на движение с безжично предаване на данните и състоянието на елементите за безопасност - аварийен стоп бутон и тристепенен бутон за разрешаване на движението, като същевременно дава допълнителна функция за дистанционно управление на 1 до 3 робота/манипулатора едновременно, и за безжичен заряд на батерийното захранване.

Съгласно изобретението задачата е решена чрез пулт за управление на леярски работи/манипулатори, които се състои от два основни възела: ръчен пулт за управление и приемник-контролер.

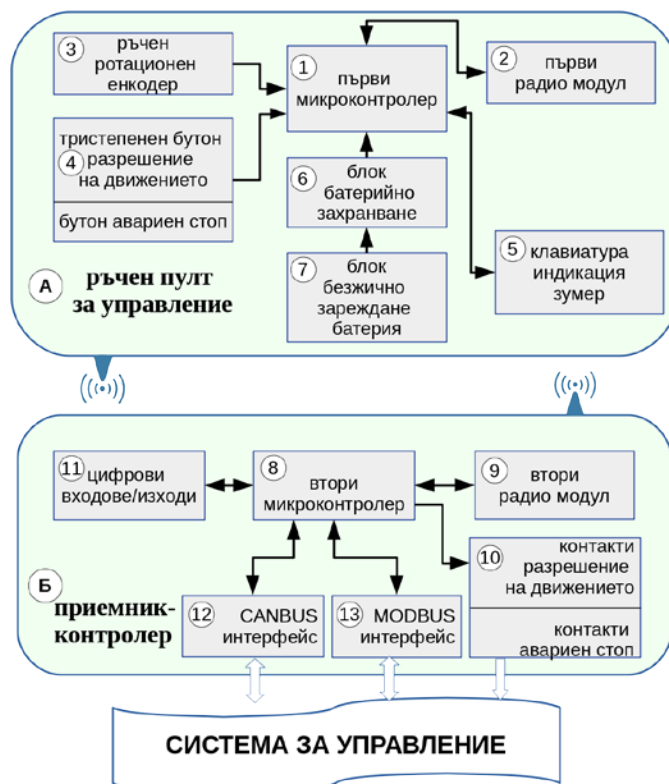
Ръчният пулт за управление е съставен от първи микроконтролер, към който едновременно са свързани: ръчен ротационен енкодер; тристепенен бутон разрешение на движението и аварийен стоп бутон; блок батерийно захранване, свързан с блок за безжично зареждане на батерията. Първият микроконтролер е двупосочно свързан с: първи радио модул; клавиатура, дисплей и зумер за звукова сигнализация.

Приемникът – контролер е съставен от втори микроконтролер, двупосочно свързан с: втори радио модул; спомагателни цифрови входове и изходи; комуникационен интерфейс CANBUS и комуникационен интерфейс MODBUS, и едновременно свързан с блок контакти за разрешение на движението и контакти за аварийен стоп;

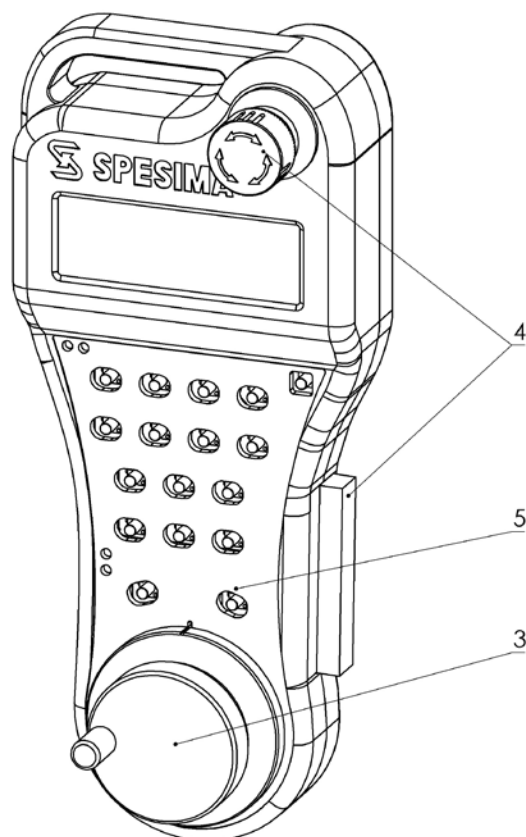
Предимствата на предложененият пулт за управление на леярски работи/манипулатори съгласно изобретението са възможността за плавно управление на скоростта на движение и позиция на 1 до 3 изпълнителни механизми, посредством ръчен ротационен енкодер чрез безжична връзка, съчетано с безжично предаване на състоянието на контролните елементи, свързани със безопасността на работа - тристепенен бутон разрешение на движението и аварийен стоп бутон, компактен дизайн, елементи за визуална и звукова сигнализация, както и безжично зареждане на батерията.

Пояснения на приложените фигури

Примерно изпълнение на изобретението е показано на приложената фигура 29, която представлява схема на предложения пулт за управление на леярски работи/манипулатори. На фигура 30 е показан външния вид на ръчен пулт за управление.



Фиг. 29 Схема на пулта



Фиг. 30 Пулт за управление

Научни, научно-приложни и приложни приноси в дисертацията:

В представената дисертационна работа е спазван следният подход за разработка от теоретични изследвания към практическа реализация:

„обзор – анализ – моделиране – синтез – тестване – верификация“

Приносите в дисертацията са с предимно научно-приложен и приложен характер:

- Направен е детайлен обзор, анализ и систематизация на мехатронни роботизирани системи
- Извършено е детайлно проучване и инженерно изследване на механичната хардуерната и софтуерната система на избрания типопредставител на ИУР – робот KUKA KR 150.
- Извършен е анализ на кинематични и динамични модели на изследвания типопредставител.
- Извършен е анализ на основните параметри на хардуерната конфигурация и софтуерното осигуряване.
- Разработени са методики за инспекция на механичната конструкция, хардуерната конфигурация и софтуерното осигуряване.
- Изследван е динамичният модел на избрания робот.
- Представен е математическият апарат за решаване на правата и обратната задача на кинематиката за изследвания представител на ИУР.
- Създадени са методики за изследване на механиката, хардуера и софтуера на KUKA KR 150.
- Извършено е изследване на механичната конструкция, хардуера и софтуера на функционално действащия лабораторен модел на реинженирания типопредставител на ИУР – KUKA KR-150, включващо изследване на кинематичните параметри и динамиката на работа, което удостовери надеждността на извършените операции по обновяването на механичните му компоненти и конструкция.
- Извършено е изследване на разработения хардуер на функционално действащия лабораторен модел на реинженирания типопредставител на ИУР – KUKA KR-150, което включва изследване на динамичните характеристики на шестте оси на работа и неговия интерфейс и комуникационен модул. Изследванията удостовериха, че:
 - сервозадвиженията осигуряват необходимата динамика, така че роботът да покрива всички изисквания към неговата функционалност;
 - сервозадвиженията имат запас по максимален ток (възможност за по-голямо претоварване), което осигурява и гарантира постигането на високи динамични параметри

при ускоряване и спиране, както и възможността за работа с по-голяма инерционна маса (по-голям товар);

- сервозадвижванията практически поддържат зададената позиция при промяна на натоварването и/или скоростта, което показва тяхната адекватна реакция, работейки с управление по позиция;

- е постигнато оптимално управление на шестте оси на робота, което позволява използването му за различни индустриални приложения.

- Извършено е изследване и верификация на резултатите от реинженеринга както следва:

- Изследване на механичната конструкция на избрания типопредставител след реинженеринг

- Проверка на кинематичните параметри на ИУР

- Проверка на динамичните характеристики на ИУР

- Изследване на хардуерните решения на ИУР вследствие на извършения реинженеринг

- Изследване на сервозадвижвания и сензори

- Изследване на интерфейса и комуникацията

- Изследване на функционалността на новосъздадения софтуер

- Изследване функционалността на софтуера

- Изследване на потребителския интерфейс

- Верификация на методиките за реинженеринг вследствие на извършените дейности

- Верификация на методиката за възстановяване на механичната конструкция

- Верификация на методиката за оценка на хардуерната система за управление

- Верификация на методиката за оценка на софтуерното осигуряване

- Извършено е верифициране на резултатите от проведените изследвания, съгласно методиките за реинженеринг на ИУР

- Извършено е изследване на функционалността на разработения софтуер за управление на функционално действащия лабораторен модел на реинженирания типопредставител на ИУР – KUKA KR-150. Изследването показва действието и работата на базовите програмни модули и на потребителските програми за движение на робота.

- Извършена е верификацията върху обновената механична конструкция и разработения хардуер и софтуер за управление на функционално действащия лабораторен модел на реинженирания робот KUKA KR-150 на база на създадени и утвърдени методики за верификация.

- Извършена е оптимизация на процедурите по симулиране и оф-лайн програмиране на работи, подложени на реинженеринг

- Предложено е иновативно решение на безжичен пулта за управление, защитено чрез регистрирана заявка за патент.
- Предложена е концепция за комерсиализация на продукта, в резултат на дейностите по РУР.

Публикации на автора във връзка с дисертационния труд:

1. Karastoyanov D., Karastanev S.. Reuse of Industrial Robots. IFAC-PapersOnLine, volume 51, Issue 30, 2018, Elsevier B. V., 2018, ISSN:2405-8963, DOI:10.1016/j.ifacol.2018.11.243, 44-47. SJR:0.26 Без ISI IF – с SJR
2. Gyoshev S., Popov B., Karastanev St.. ICT for 3D modeling and 3D tactile visualization of sites of cultural and historical heritage. Conference proceedings., Croatian society for mechanical technologies, Croatia, 2018, ISSN:1847-7917, 53-56 Без ISI IF и без SJR – индексирано в WoS или Scopus
3. B., Karastanev St.. Renovating of used industrial robots for new purposes. Conference proceedings., Croatian society for mechanical technologies, Croatia, 2018, ISSN:1847-7917, 107-110, Без ISI IF и без SJR – индексирано в WoS или Scopus
4. Karastanev St.. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИНДУСТРИАЛНИ РОБОТИ ЗА ПОВТОРНА УПОТРЕБА. Част 1: Изследване на механиката. ROBOTICS, AUTOMATION AND MECHATRONICS ' 18 RAM 2018, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2018, ISSN:1314-4634, 17-22 Национално академично издателство
5. Karastanev St.. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИНДУСТРИАЛНИ РОБОТИ ЗА ПОВТОРНА УПОТРЕБА. Част 2: Изследване на управлението. ROBOTICS, AUTOMATION AND MECHATRONICS ' 18 RAM 2018, Prof. Marin Drinov Publishing House of Bulgarian Academy of Sciences, 2018, ISSN:1314-4634, 23-28 Национално академично издателство
6. Карастанев С., ИНОВАТИВНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА АДАПТИВНО РОБОТИЗИРАНО ЗАВАРЯВАНЕ., XXVII International Scientific and Technical Conference, ADP - 2018., June 21-24th 2018, Publishing House of Technical University of Sofia, 2018, ISSN:13 10 -3946, 272-277 Международно неакадемично издателство
7. Карастанев С., Безжичен пулта за управление., Заявка за патент на Република България, рег. № 112817 от 17.10.2016