ТЕХНОЛОГИЧНО УЧИЛИЩЕ ЕЛЕКТРОННИ СИСТЕМИ
към ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

ДИПЛОМНА РАБОТА

на тема

Боен робот с пулт за дистанционно управление по радио връзка

Дипломант:
Александър Иванов
специалност

Дипломен ръководител:
инж. Владимир Гаристов

1 март 2024 г.
София

ТЕХНОЛОГИЧНО УЧИЛИЩЕ ЕЛЕКТРОННИ СИСТЕМИ
към ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

Дата на заданието: 15.11.2023 г. Утвърждавам:.....
Дата на предаване: 15.02.2024 г. /проф. д-р инж. П. Якимов/

ЗАДАНИЕ
за дипломна работа

ДЪРЖАВЕН ИЗПИТ ЗА ПРИДОБИВАНЕ НА ТРЕТА СТЕПЕН НА ПРОФЕСИОНАЛНА КВАЛИФИКАЦИЯ
по професия код 481020 „Системен програмист“
специалност код 4810201 „Системно програмиране“

на ученика Александър Евгениев Иванов от 12А клас

1. Тема: Боен робот с пулт за дистанционно управление по радио връзка

2. Изисквания:
   2.1. Радио връзка робот-управляващ модул
   2.2. Управление на посоката на движение посредством джойстици
   2.3. Управление чрез ШИМ на мощността на постояннотокови четкови мотори
   2.4. Управление на стъпков мотор
   2.5. Функции за безопастност - крайни изключватели и прекъсвач на захранването

3. Съдържание
   3.1. Теоретична част
   3.2. Практическа част
   3.3. Приложение

Дипломант :.....
/ Александър Иванов /
Ръководител:.....
/ инж. Владимир Гаристов /

ВРИД Директор:.....
/ ст. пр. д-р Веселка Христова /

Съдържание

Списък на фигурите

Списък на таблиците

Listings

1

Увод

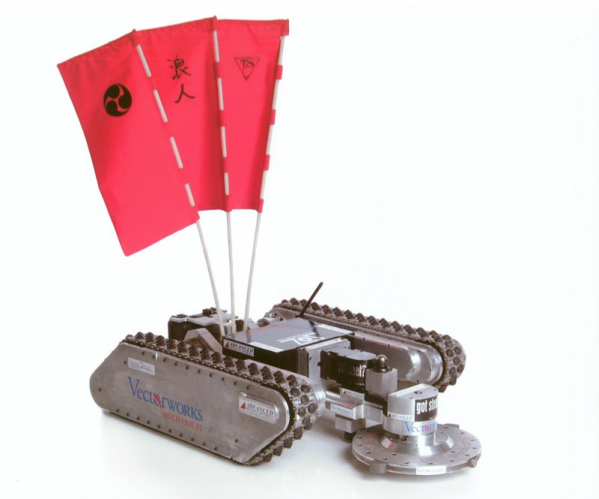
Още от зората си, човечеството търси разнообразни и вълнуващи начини да успее да избяга от еднообразното си ежедневие. За целта много и различни методи за развлечение са възникнали, вариращи от приятелски игри до зрелищни спектакли. Едно от най-разпространените забавления още от тогава е също толкова популярно и днес, а именно – боевете. Зрелището на това два индивида да се бият помежду си завладява всеки зрител. Годините са доказали, че колкото по-драматична е една битка, толкова по-силни са чувствата, които се пораждат у нейните наблюдатели. Но това води до един неизбежен проблем: участниците в такива интензивни битки винаги биват физически наранени. Поради тази причина се появява казусът как може да се постигнат тези зрелища, без участниците да пострадат. Решението на този проблем са битките с бойни роботи (или батълботи). Стандартна битка трае 3 минути и в тях роботизираните системи, контролирани чрез дистанционно управление, целят увреждането на опонента до такава степен, че вече да не може да извършва движения.

2

Методи, средства и методологии за изработване на бойни роботи

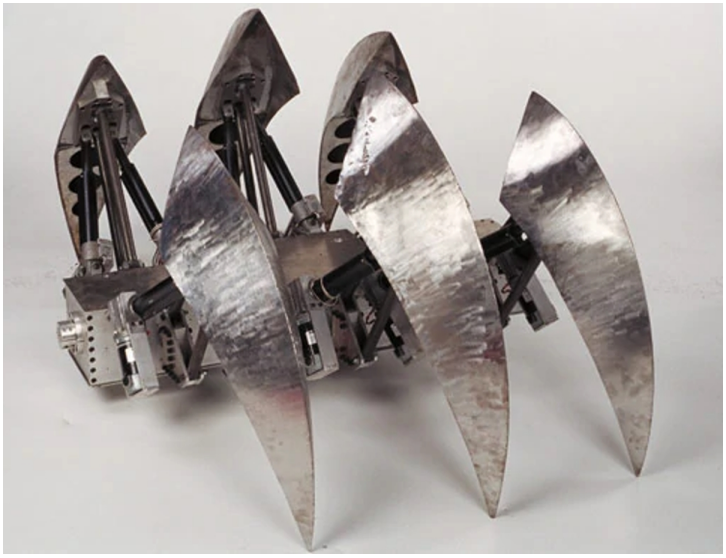
2.1 Основни методи и технологии за задвижване на бойни роботи

Бойните роботи традиционно могат да се задвижват по три начина чрез вериги, колела или механични крака. Има и други начини, но те не са ефективни в битка. Роботите, задвижвани с танкови вериги, имат отлично сцепление със земята и вървят много стабилно, но имат много недостатъци. Поради голямата площ на триене при завъртане те изразходват значително количество енергия. Освен това и самото движение се извършва сравнително бавно, което позволява на опонента да заобиколи робота и да го удари в гръб. Боен робот, задвижван от верига, може да се види на фиг. 2.1.



Фигура 2.1.: Боен робот, задвижван от вериги

Механичните крака имат също много недостатъци. Някои от които са, че са много сложни за конструкция и контрол. Друг техен недостатък е, че те не са достатъчно здрави по време на битка, особено срещу посичащите спинер роботи. Повече за този тип бойни роботи може да се прочете в раздел 2.4. Трета слабост е, че центъра на тежестта на роботи с такава система за задвижване е много високо над земята, което ги прави уязвими срещу атаки, целящи преобръщане. Батълбот, използващ механични крака може да бъде видян на фиг. 2.2.



Фигура 2.2.: Боен робот, задвижван от механични крака

Поради гореспоменатите причини, най-често бойните роботи се задвижват чрез колела. Разпространени са два начина на управление на задвижването на моторни средства с колела – Акерман управление и диференциално управление. Акерман управлението е възприето от повечето моторни-превозни средства. При него един голям мотор задвижва колелата и един по-малък отговаря за тяхното завъртане. То е ефективно при движение в права линия, но когато трябва да се завие се изискват определени маневри. Диференциалното управление е много по-често срещано в роботиката. При него лявата и дясната страна на робота се задвижват напълно индивидуално. Недостатъкът на този метод е фактът, че за да се движи моторното средство в права линия двете половини трябва да имат еднаква скорост, което е трудно за постигане. Голямото преимущество обаче е, че завиването става значително по-бързо.

Освен по начин на управление на задвижването роботите придвижващи се с колела се различават помежду си и чрез броя на задвижваните колела. При такива с две задвижващи колела и диференциално управление на задвижването, завиването се случва със сравнително ниски загуби на енергия. Проблемът е, че с две опорни точки, роботът най-вероятно ще има нужда от поне още една такава. Той се решава чрез добавянето на ball transfer units.

2.2 Основни методи и технологии за дистанционно управление на бойни роботи

Съгласно официалните изисквания за работа към бойните роботи, те трябва да бъдат контролирани безжично дистанционно. За целта могат да се използват много технологии за безжична комуникация, като едни от най–популярните са Wi-Fi, Bluetooth и nRF24L01.

Wi-Fi позволява много висока скорост на предаване на информацията, но има много недостатъци. Един от тях е, че има много високо потребление на енергия. Друг е, че не може директно да се предава информация от едно устройство на друго безжично, а първо трябва тази информация да се подаде на маршрутизатор и след това той да я изпрати до устройството получател. Отделно по време на боевете се очаква да има голяма публика и безплатен Wi-Fi което предполага, че каналите, които се използват за тази технология ще бъдат претоварени и съответно ще има по-лоша свързаност.

Bluetooth технологията осигурява средна скорост на предаване на информация, на цената на средно ниво на консумация на енергия. Недостатъкът е, че за да могат две устройства да се свържат и да общуват безжично и двете трябва предварително да се сдвоят, което е непрактично за системи, които не включват компютри или телефони.

Модулът nRF24L01 позволява безжична радиочестотна комуникация с други такива модули. От трите технологии за безжична комуникация този модул предлага тази с най-ниско потребление на енергия. За разлика от Wi-Fi, nRF24L01 може да се комуникира с друго устройство директно, без необходимостта от маршрутизатор. Предимството му

пред Bluetooth е, че не е необходимо предварително двете устройства да се сдвояват.

	Wi-fi	Bluetooth	nRF24L01+
Скорост	Висока	Средно	Средна
Обхват	10ки метри	10 метра	10-150 метра
Енергийна консумация	Висока	Средна	Ниска

Таблица 2.1.: Сравнителна таблица за безжични технологии

2.3 Основни методи за защита на бойни роботи

За защита на бойните роботи винаги се монтира броня около неговата структура. Видовете броня са: традиционна, аблативна и реактивна.

Традиционната броня е изработена от много здрави и твърди материали, които се стремят да абсорбират и предадат енергията на удара без да се повреждат. Високата твърдост и здравина на този вид защита често се използва за чупене или изтъпяване на остриетата на вражеските оръжия и запазване целостта на робота при удари. Благодарение на здравината си тази броня по-рядко трябва да се сменя след битки, но нейният недостатък е, че при удар енергията на сблъсъка се предава до елементите вътре в робота, което може да доведе до тяхното повреждане.

Аблативната защита, от друга страна е проектирана да предпазва от щети робота, като самата тя бива повреждана чрез процеса аблация. Това е процеса на премахване на материал от повърхността на обект посредством изпарение или стружко отделяне. Материалите, от които е изградена са също твърди и здрави, но за разлика от традиционната броня имат по-ниска твърдост. Поради това тяхно свойство, когато тези брони трябва да предпазват от силни удари, вътрешните елементи биват изложени на риск. Материали като дървото са много ефикасни представители на този вид елементи, но друг техен недостатък е, че сблъсъците водят до много визуални следи, което често носи допълнителни точки на опонента за щети.

Третия вид броня е реактивната. По време на удар тя реагира по някакъв начин, за да предотврати щети. Има различни видове реактивна

броня и всяка има свой предимства и недостатъци. Пример за такъв вид защита е пласт гума между два пласта метал. Предимството й е, че в случай на удар, пластът гума би абсорбирал енергията на удара. Този вид броня не е ефективна в боевете с роботи, поради причината, че много бързо бива повреждана и спира да пази.

2.4 Видове съществуващи бойни роботи

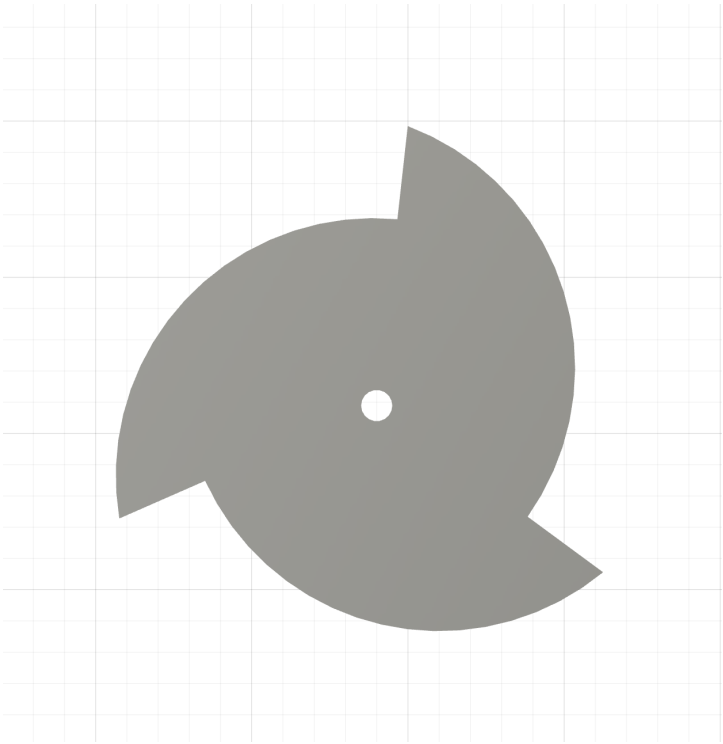
Съществуват много различни видове батълботи. Основно изискване към всеки от тях е да имат поне едно оръжие, чрез което да могат да повредят опонента. В зависимост от своето оръжие роботите се разделят на 14 типа: „rammer“, „wedge“, „lifter“, „flipper“, „spearbots“, „horizontal spinner“, „sawbot“, „vertical spinner“, „drumbot“, „hammerbot“, „clamper“, „crusher“, „flamethrower“ и „multibot“. Има и други видове роботи, но те почти винаги могат да бъдат категоризирани в един от гореспоменатите видове. За ефективността на бойния робот в битка има голямо значение какво оръжие е избрано. Примерно със своите огромни дискове нанасящи разрушителни удари роботите с оръжие „vertical spinner“ са много ефективни срещу голяма част от роботите. Те имат обаче един фатален недостатък, който се изразява в това, че поради голямата скорост на въртене на съответното оръжие генерират жироскопичен ефект, който намалява осезателно скоростта им на движение, което ги прави уязвими към удари отзад. С времето в робот-ските боеве категориите „flipper“, „horizontal spinner“, „vertical spinner“, „drumbot“, „hammerbot“ и „clamper“ са се откроили като по-ефективни в сравнение с останалите.

3

Дизайн и блоковата схема на робота

3.1 Дизайн и Функционални изисквания към робота

В рамките на дипломната работа бойният робот, който се разработва, е с оръжие "hammer saw". Този вид оръжие е хибрид между пневматичните чукове и въртящите се режещи дискове. По дизайн оръжието е диск, чиято формата не е перфектен кръг, а е неправилна особена форма. Тя може да бъде видяна на фиг. 3.1. Разработения робот е вдъхновен от робота SawBlaze участник от телевизионното състезание BattleBots.

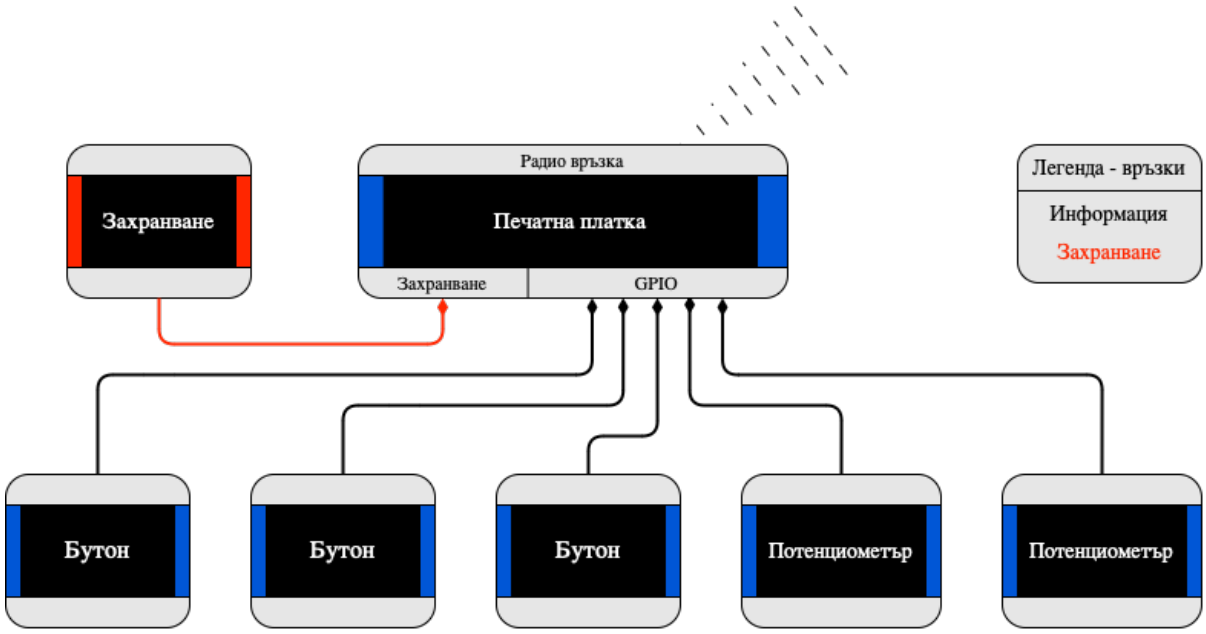


Фигура 3.1.: Хоризонтален разрез на оръжието

3.2 Блок схеми

На фиг. 3.2 и фиг. 3.3 са представени блоковите схеми на пулта за управление и робота. Със син цвят са представени устройствата слаботоковите устройства, а червен захранването и силовата електроника. Черните стрелки на схемите представляват пренос на данни, а червените - захранване.

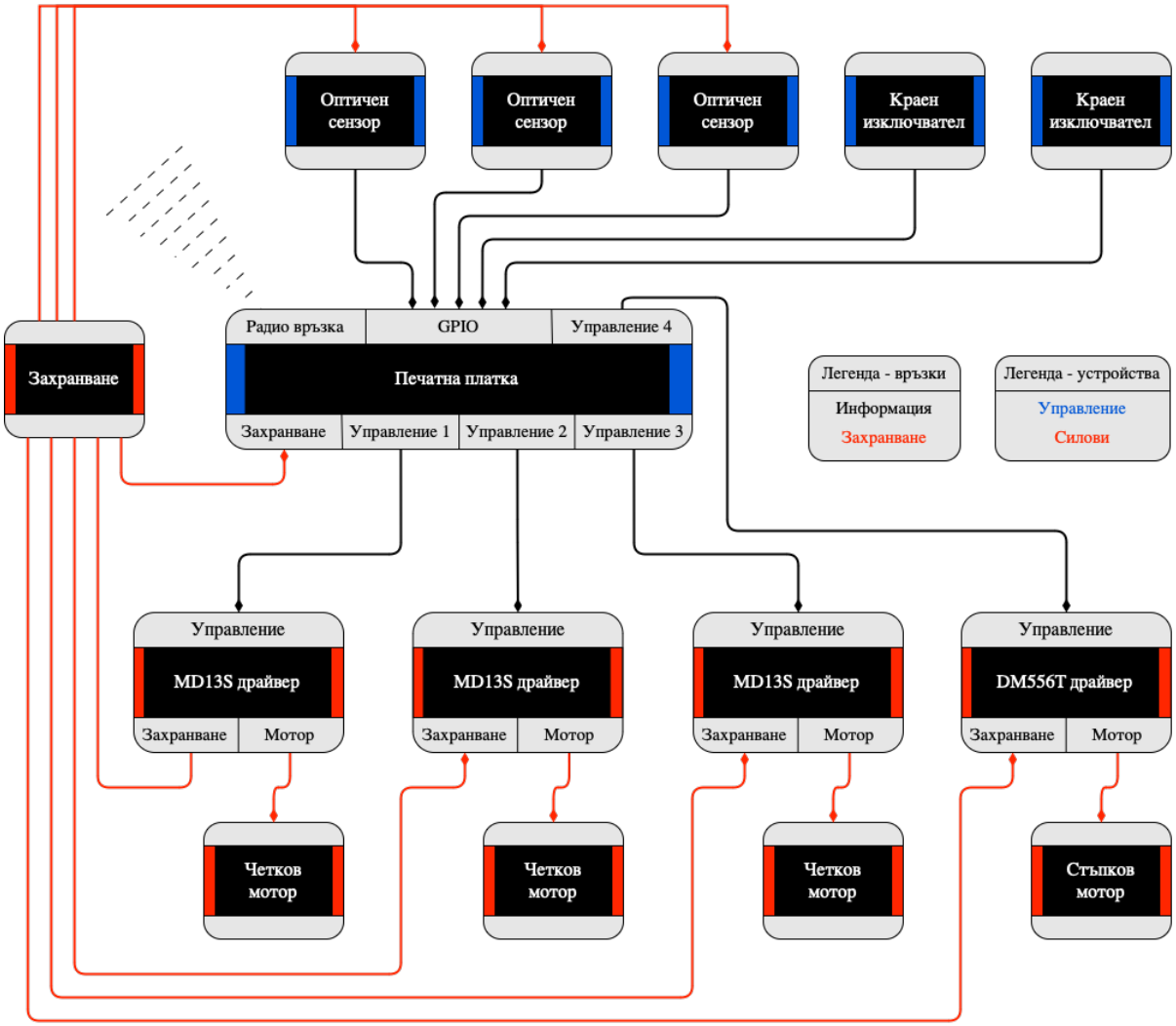
Основния компонент в схемата на дистанционното печатната платка, върху която седи микроконтролерът и радиочестотния модул. Това което микроконтролера прави е да прочита данните от бутоните и потенциометрите и да се предават посредством радио модула до печатната платка в робота. За повече информация какъв е цикъла на работа може да се прочете раздел 6.1.



Фигура 3.2.: Блокова схема на дистанционното

Подобно на пулта за управление основния компонент в робота е печатната платка, защото на нея са поставени избраният микроконтролер и радиочестотния модул. Тук функцията на nRF модула е да се получават данните изпратени от дистанционното и да се предадат на микроконтролера. Той на свой ред ги изпълнява като в зависимост от тях се променя управлението на силовите компоненти. Два от четковите мотори се използват за задвижване на робота, а третия за завъртане

на оръжието. Стъпковият мотор се използва за да се контролира позицията на ръката с оръжието. Успоредно на това чрез оптичните сензори се следи скоростта на четковите мотори. Освен това чрез крайните изключватели се следи стъпковия мотор да не излиза извън крайните си състояния.



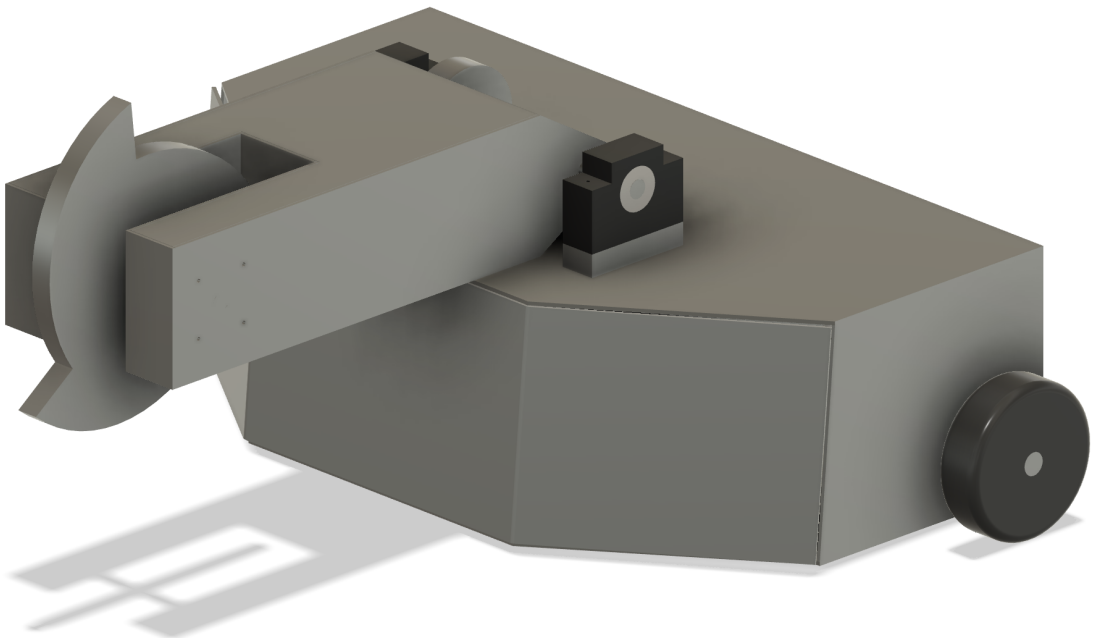
Фигура 3.3.: Блокова схема на робота

4

Механика

4.1 Цялостен модел на робота

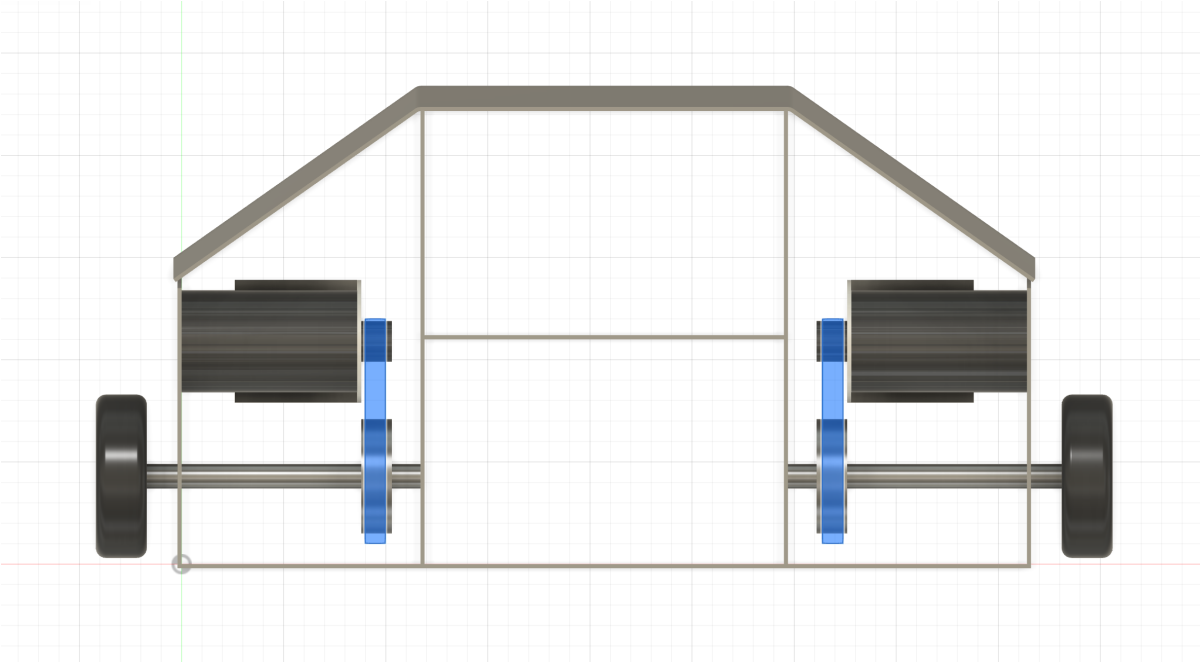
Както е описано в предишната глава, дизайна на бойния робот е вдъхновен от робота SawBlaze. Материала, който е използван за изграждането на прототипа на проекта е два милиметра дебела студено валцована въглеродна стомана DC01. Механичната конструкция на робота може да бъде разделена на два основни компонента - шасито, в което седят почти всички елементи, и механичната ръка, на която е закрепено оръжието.



Фигура 4.1.: 3D макет на бойния робот

4.2 Задвижване на робота

По време на проектирането на механиката на боен робот първият проблем, който трябва да бъде разгледан е как той ще се придвижва по арената. След направеното проучване в раздел 2.1 бе установено, че най-ефективният метод е диференциалното задвижване с колела. По дизайн роботът има две задвижващи колела отдвете си страни и още две допълнителни пасивни колела, които го балансират и му помагат да се движи по-добре. Всяко от задвижващите колела е с външен диаметър 80мм и ширина 12мм. Използваните мотори за тяхното задвижване са CHANCS 895 DC.



Фигура 4.2.: Схема на задвижването на бойния робот

За да може батълбота, който тежи приблизително 18kg, да се задвижва от две колела трябва да бъде пресметнато какъв въртящ момент трябва да достига до всяко от тях [1] . За целта на изчисленията приемаме, че двете активни колела ще понасят цялото тегло на робота. Понеже на двете колела лежи тежестта от 18kg, означава, че всяко колело изпитва натиска от 9kg или еквивалентните им 88,29N. Коефициента на триене между колелата и пода на арената варира между 0,75 когато робота е в покой и 0,65 когато е в движение. Следователно

[1] Изчисленията са извършени като се приема, че роботът се движи на равна повърхност

най-голямата сила на съпротивление, която всяко колело може да генерира без самото колело да се върти е 88,29N x 0.75 = 66,2175N. След като диаметъра на колелото е 80мм следва, че радиусът му е 40мм или 0,04м. Следователно минималният въртящ момент, който позволява на колелата да се въртят е равен на 66,2175N x 0,04m = 2,6487Nm. Следователно минималният въртящ момент, който мотора трябва да достави на колелото е 2,6487Nm, но по време на въртенето си той има само 0,735Nm.

Поради тази причина се налага да се направи редукция на скоростта на мотора за да се увеличи неговия въртящ момент. За да се изчисли каква трябва да бъде нужната редукция трябва да се намери отношението на необходимият въртящ момент и този, който може да бъде генериран. Редукцията, която се получава, че трябва да бъде реализирана между мотора и колелото е минимум 2,6487Nm / 0,735Nm = 3,6.

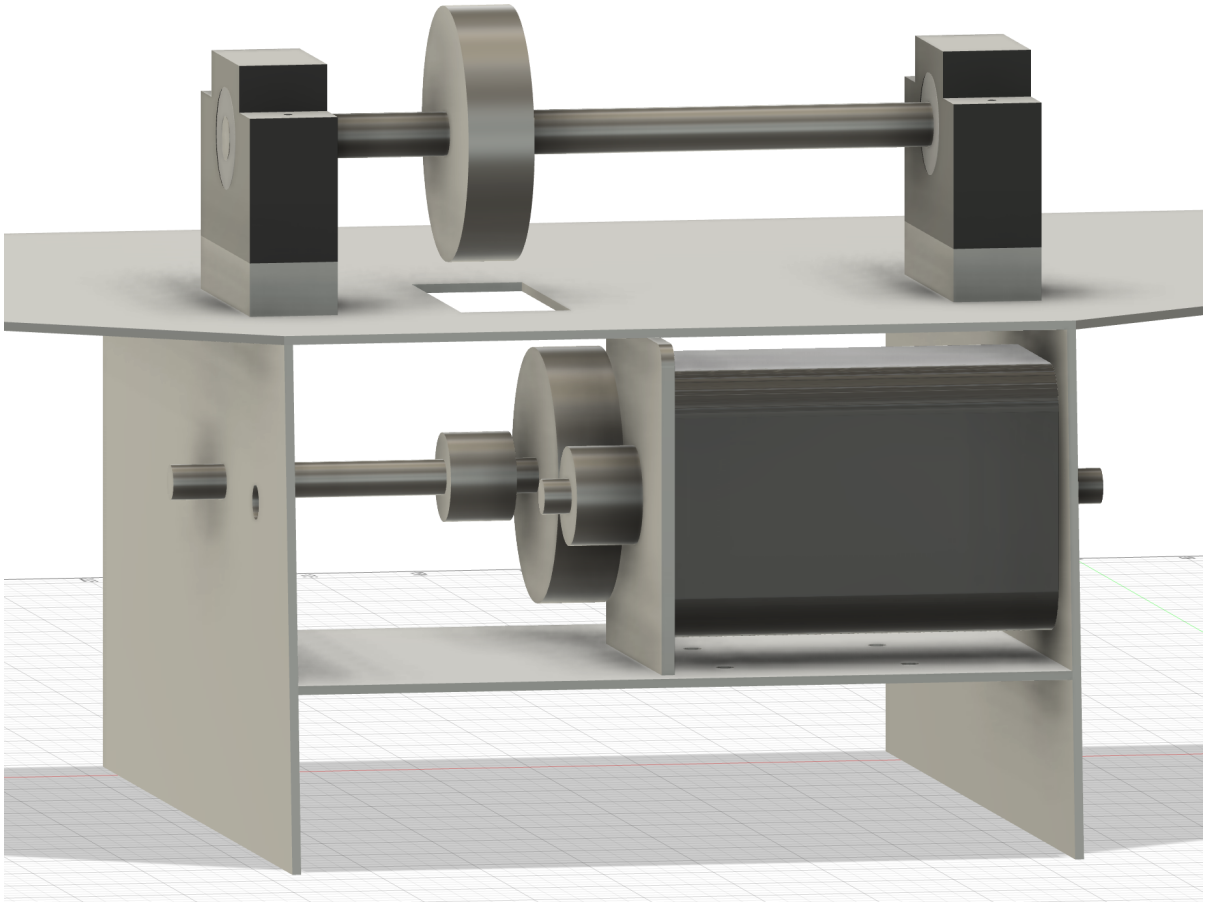
Начинът, по който е реализирано диференциалното задвижване е като всяко от активните колела бива задвижвано от различен мотор. Връзката между тях е реализирана, чрез зъбчат ремък с ширина 10мм. За да се постигне необходимата редукция, отношението на зъбите на ремъчните ролки на осите на колелата и тези на моторите трябва да бъде равно на нея. Поради това използваните ролки на моторите са с по 10 зъба, а другите са с по 36 зъба. С цел намаляване на триенето между осите на колелата и стените, осите са захванати с лагери в специално изработените за целта лагерни опори, закрепени за стените.

4.3 Задвижване на ръката

Първата специфична функционалност на разработения боен робот е начина, по който механичната ръка се върти около оста си и се задържа на позицията, на която и бива зададено да седи. Тази задача бива изпълнена чрез употребата на стъпков мотор Nema 24.

За да може ръката да се върти около оста си първо трябва да бъде изчислено какъв въртящ момент ще бъде необходим за целта. Тежестта на ръката е приблизително 4kg, което означава, че силата която е нужно да бъде приложена за да може тя да се завърти е 39,24N. За да пресметнем колко е необходимият въртящ момент за нейното

завъртане е необходимо получената сила да бъде умножена по дължината на ръката, която е 240мм(0,24м). По този начин получаваме, че трябва да бъдат приложени 39,24N x 0,24м = 9,4176Nm. Употребеният стъпков мотор може да задържа на една позиция само товари, които изискват въртящ момент 3,1Nm или по-малко, от което следва, че се налага да бъде приложена минимална редукция от 3,03 за да може да бъде реализирано въртенето на ръката.



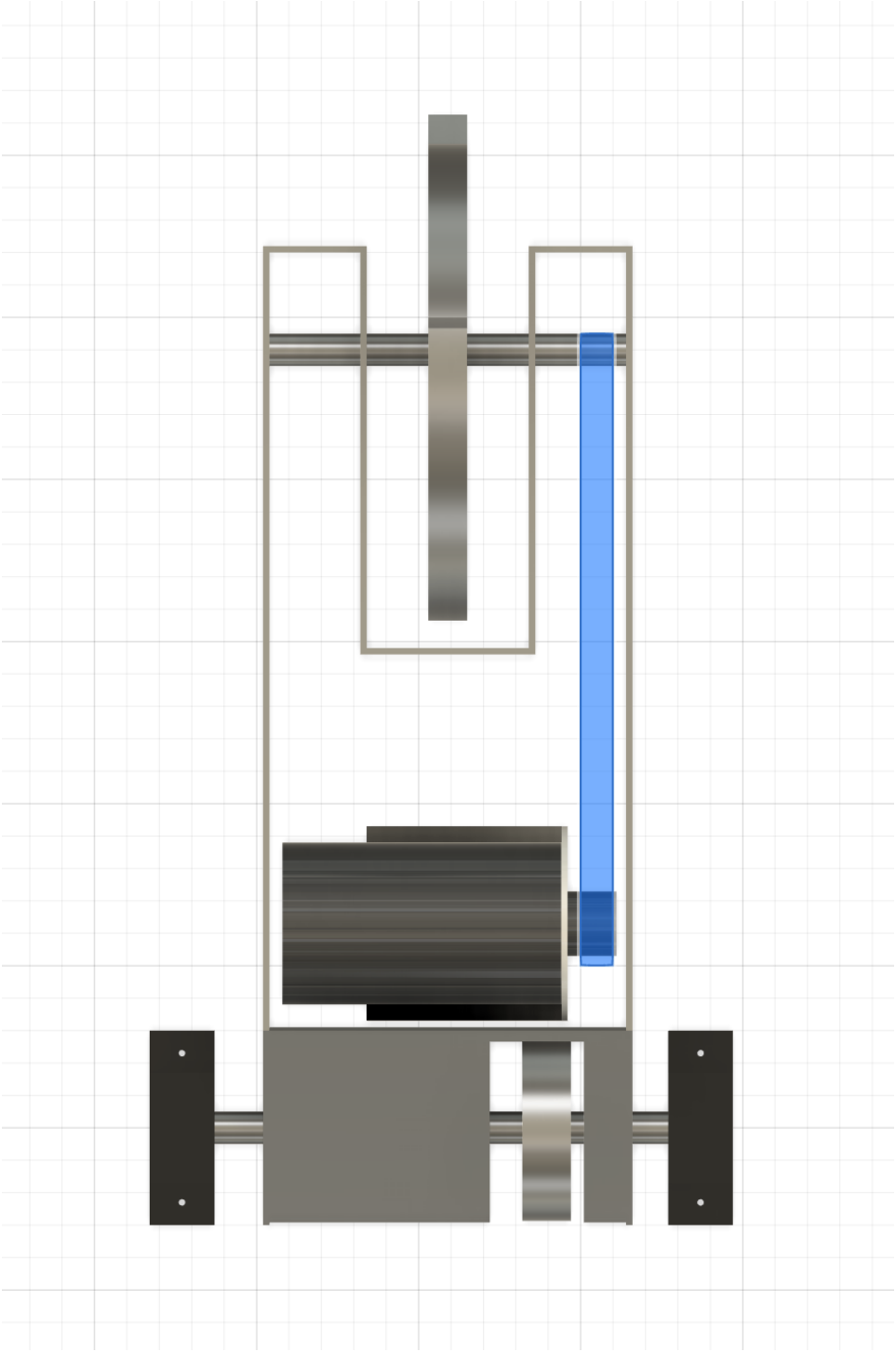
Фигура 4.3.: Схема на задвижването на механичната ръка

Начинът, по който е осъществено завъртането на ръката е като тя бива захваната за своята ос така, че чрез завъртането на оста ръката да бъде придвижена заедно с нея. Предаването на движението от стъпковия мотор към оста на ръката е постигнато посредством зъбни ремъци. С цел максималното увеличение на приложената редукция е поставена спомагателна ос между мотора и оста на ръката. По този начин се получават две редукции на движението на мотора. Първата бива от мотора към спомагателната ос, като поставената ролка на

мотора има 12 зъба, а тази на спомагателната ос 36 зъба. Постигната редукция чрез тази връзка е 3. Втората редукция бива от спомагателната ос към оста на ръката и използваните ролки са в същото отношение като тези в предишната предавка. Резултатът от двете връзки е, че общата редукция на скоростта на въртене на мотора се получава да бъде умножението на двете, от които е съставена, което я прави 9. За намаляване на съпротивлението по време на въртенето си са поставени лагерни опори в краищата на двете оси.

4.4 Задвижване на оръжието

Друг проблем, който трябва да бъде решен по време на проектирането на механиката на всеки боен робот е по какъв начин неговото оръжие ще се задвижва. Както е описано в точка раздел 3.2 оръжието, което се използва в разработения проект е 180-милиметров диск с ширина 8мм и специфична форма. Формата на диска може да бъде видяна на фигура фиг. 3.1. Той е захванат за своята ос така, че чрез завъртането на оста и диска да се върти заедно с нея. Използваният мотор за движението на оръжието е CHANCS 895 DC. Начина, по който е реализирано предаването на движението от мотора до оста на диска е посредством плосък ремък. Избран е плосък ремък за тази цел, а не зъбчат поради причината, че при удар ремъка и мотора трябва отведнъж да спрат своето движение, което често може да доведе до прескачане на зъби на зъбчатия ремък и тяхното ронене. В тези ситуации плоския ремък няма да се амортизира по този начин, а само ще се приплъзне леко по своите ролки. Реализирана е и редукция от 5 на скоростта на тази предавка поради високата скорост, с която би се въртял диска. С цел намаляване на съпротивлението по време на въртенето си в краищата си оста на диска е поставен в лагерни опори, които са застопорени за стените на ръката.



Фигура 4.4.: Схема на задвижването на оръжието

5

Проектиране на печатните платки

За проектирането на печатните платки и монтажните схеми в проекта е използван софтуерния пакет KiCad. Той е избран за целта, защото е безплатен и има богата библиотека с компоненти, съдържащи символи и очертания на корпуси.

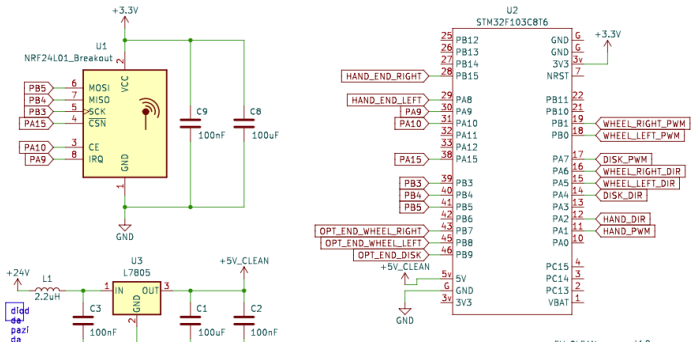
5.1 Принципна електрическа схема на робота

Принципната електрическа схема на печатната платка в робота може да бъде видяна на фиг. Б.1. Основният елемент на схемата е микроконтролерът STM32F103C8T6 (blue pill), който управлява останалите компоненти. Използваните компоненти в проектирането на тази печатната платка могат да бъдат видяни в таблица табл. А.2.

5.1.1 Радиочестотен модул

Връзката между дистанционното и робота се осъществява посредством nRF24L01+ PA/LNA радиочестотен модул. Комуникацията между него и използвания микроконтролер е посредством SPI интерфейс. Радиочестотният модул бива захранван с 3,3V от вградения регулатор на напрежението на blue pill. С цел повишаване на съотношението сигнал/шум са поставени 100nF керамичен кондензатор и 100uF електролитен кондензатор, които да намалят съответно високочестотните и нискочестотните шумове.

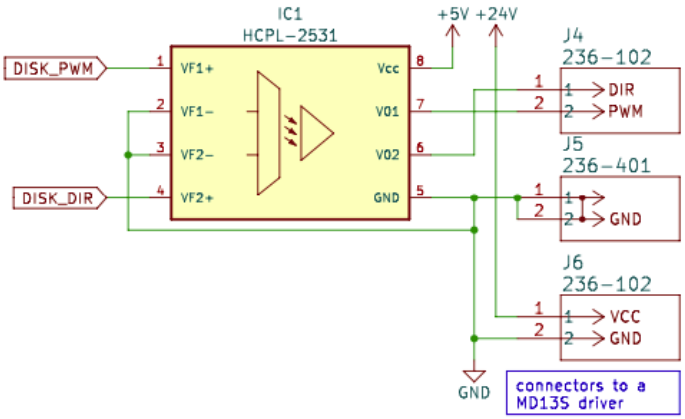
предавател по далеч / мощни мотори = повече шум слаб сигнал



Фигура 5.1.: Радиочестотен модул в робота

5.1.2 Управление на моторите

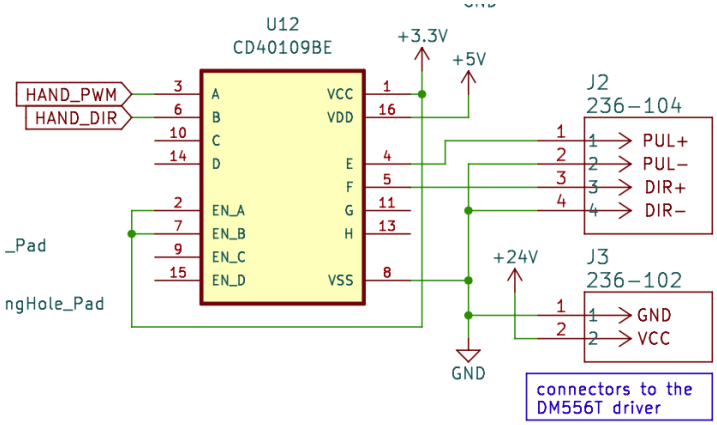
Управлението на постоянно токовите четкови мотори се извършва посредством MD13S драйвери. Необходимите логически сигнали за да може да се реализира управлението са ШИМ сиганл, който упоменава скоростта, с която мотора трябва да се върти, и високо или ниско ниво, което да показва посоката на движение. С цел постигане на галванична изолация между микроконтролера и драйверите са поставени оптрони. Начинът на свързване на всеки оптрон може да бъде видян на фиг. 5.2. Необходимото захранване на всеки мотор е 24V и то бива подадено посредством отделен конектор.



Фигура 5.2.: Оптрон

За управлението на стъпковия мотор се използва драйвер DM556T. Сигналите за управление включват , поредица от импулси, които указват колко стъпки трябва да бъдат направени и логическо ниво (високо или ниско), указващо посоката им. Не е поставен допълнителен оптрон

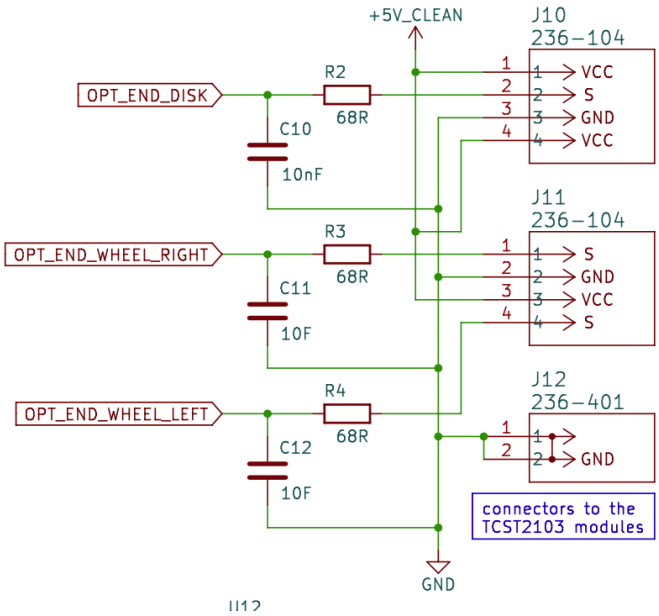
за изолация между драйвера и микроконтролера, поради причината, че на входовете си DM556T има вградени такива. Така направена схемата обаче няма да работи, защото логика на blue pill-а е на 3,3V, докато драйвера използва 5V логика. Този проблем бива решен като се използва преобразувател на логически нива U12, който превежда логическото управление от 3,3V към 5V, съответстващо на логиката, използвана от драйвера.



Фигура 5.3.: Преобразувател на логически нива

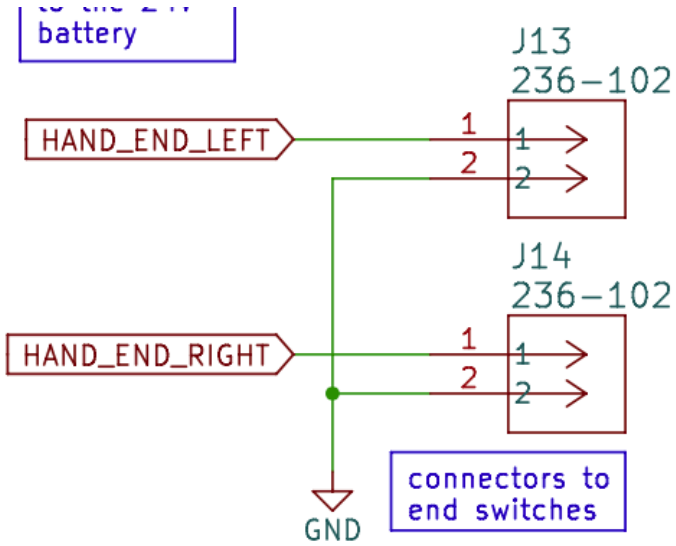
5.1.3 Сензори

За следене на скоростта на робота са предвидени и инсталирани оптични сензори. Те биват свързвани към печатната плака чрез конекторите J10, J11 и J12. Всеки сензор има извод за данни и изводи за захранване. Сигналите от оптичните сензори минават през пасивни нискочестотни RC филтри с цел да се премахнат потенциални смущения.



Фигура 5.4.: оптични сензори

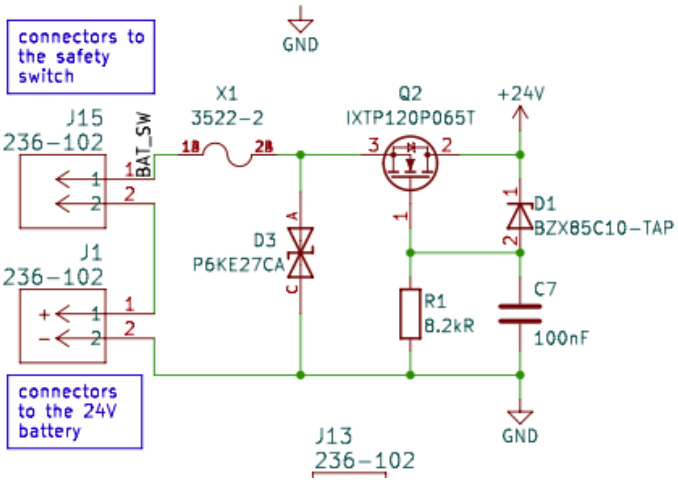
Съгласно изискванията за безопасност са предвидени и крайни изключватели, които да следят дали стъпковият мотор е достигнал някоя от крайните си позиции. Те са свързани, чрез конекторите J13 и J14



Фигура 5.5.: Крайни изключватели за ръката

5.1.4 Захранване на печатната платка

Печатната платка се захранва директно от 24V постояннотокова батерия. Съгласно изискванията за безопасност изводите на конектор J15 са предвидени за ключ, който да спира цялото захранване на робота. Освен това има имплементирани хардуерни защити против късо съединение, пренапрежение и обратен поляритет на захранването. Първата от трите е реализирана чрез поставянето на автомобилен бушон на държача X1 последователно свързан след главния ключ. Защитата против пренапрежение се осъществява посредством двупосочния трансил D3. С цел защита против неправилен поляритет на напрежението е поставена P-MOS защита след трансила. Тя се реализира чрез транзистора Q2, ценеровия диод D1 и резистора R1. При правилното свързване на батерията през диода в Q1 протича ток. Поради образувания делител на напрежение D1 и R1, напрежението гейт-сорс на Q2 става равно на пробивното напрежение на D1 и транзисторът се отпушва. В случай, че батерията бъде свързана с обратен поляритет, диодът в Q1 бива свързан в обратна посока и транзисторът остава запушен. Във веригата е поставен и кондензатора C7 за да стабилизира напрежението върху ценера D1.

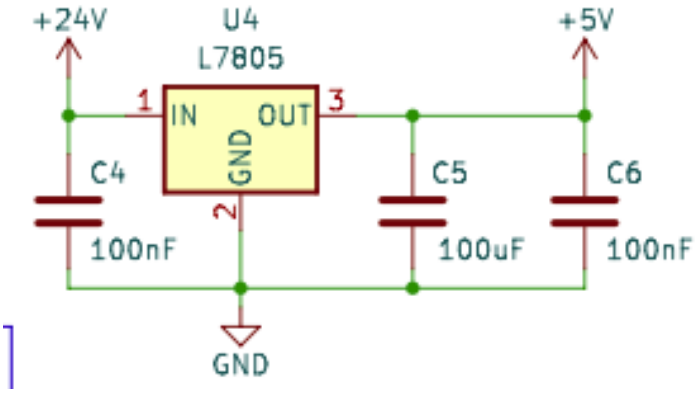


Фигура 5.6.: Защити на захранването

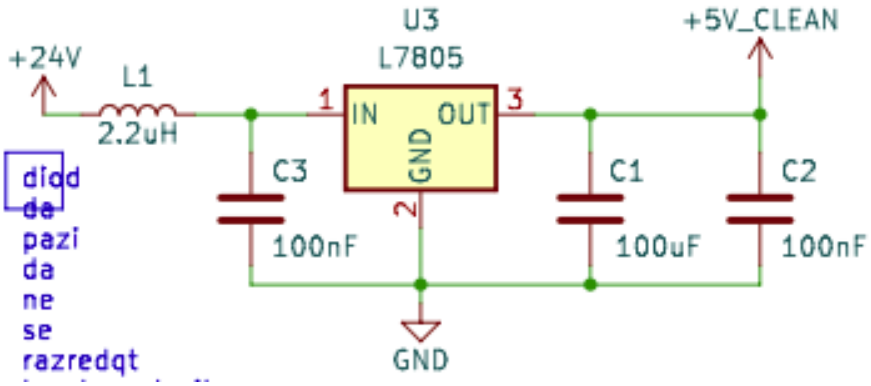
Захранването на логическата част на проекта е постигнато посредством линейни стабилизатори L7805. То е разделено на два канала за да може да бъдат намалени шумовете в захранването на микроконтролера и радиочестотния модул. По-чувствителните към шумове елементи разполагат с отдлно захранване.

Първият канал използва стабилизатора U4 за да успее да свали напрежението до 5V, които да бъдат подадени после на оптроните на логическата част на четковите мотори и на логическия преобразовател на стъпковия мотор. Той е показан на фиг. 5.7а. За намаляване на шумовете в системата са поставени електролитния кондензатор C5 и керамичния C4 и C6.

Второто захранване е почти идентичен с първия. Той се използва за захранването на микроконтролера, радиочестотния модул и сензорите в робота. Може да бъде видян на фиг. 5.7б. Това захранване допълнително разполага с индуктор L1, който блокира смущения.



(а) Захранване на логиката на силовата електроника



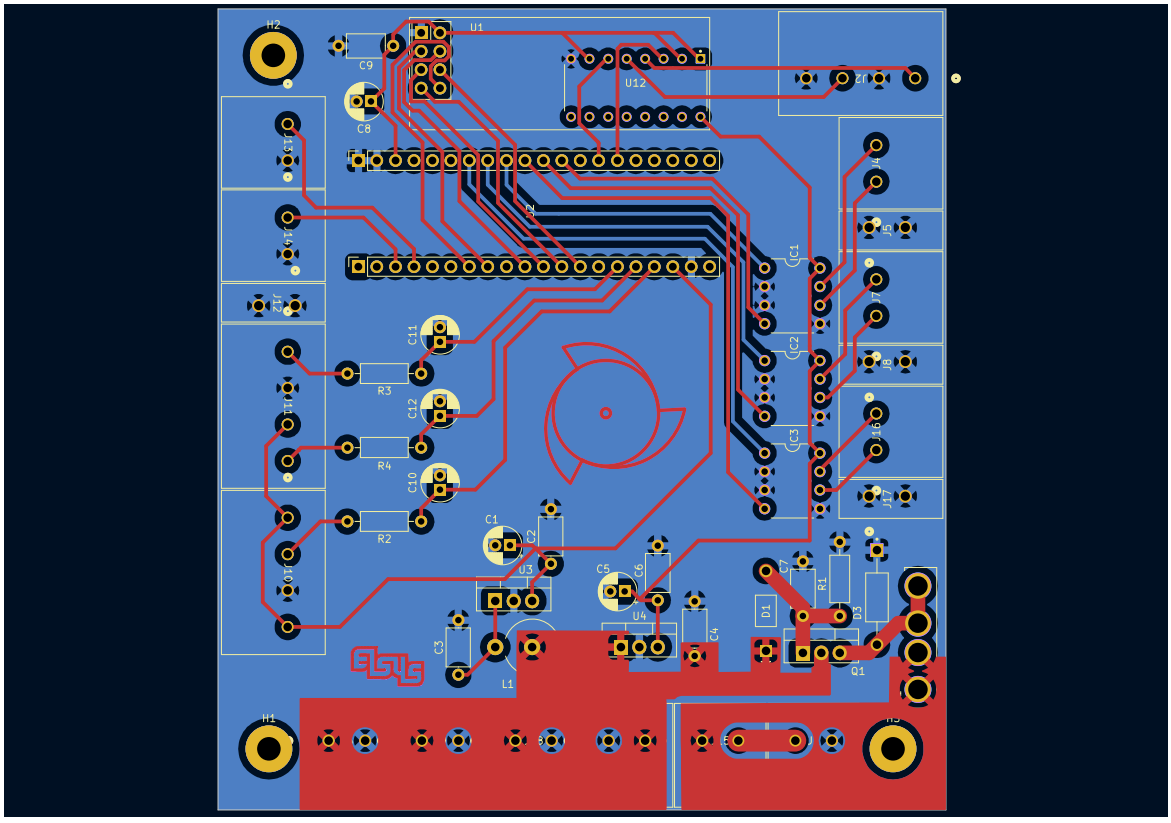
(б) Захранване на микроконтролера, радиочестотния модул и сензорите

Фигура 5.7.: Захранване на логическата част в робота.

5.2 Опроводяване на печатната платка на робота

На фиг. 5.8 могат да се видят двата слоя на печатната платка. Захранващата мрежа +24V е опроводена чрез медни зони. При проектирането и е спазена добрата практика, когато има две различни напрежения на печатната платка те да бъдат отделени максимално далеч едно от друго. По останалата част от проводниците се движат или +5V, или от +3.3V. Голямата медна област от долната страна се използва за земя. В 3 от четирите ъгъла могат да бъдат видени предвидените монтажни отвори за закрепване на платката. Особеност на тази платка е неизбежното застъпването на U1 и U12. В общия случай подобно разположение на елементите е груба грешка, но U1 е модул, монтиран на стандартни рейки. Това оставя повече от достатъчно пространство U12 да бъде поставен.

В фиг. Б.2 са показани поотделно всеки слой на печатната платка.



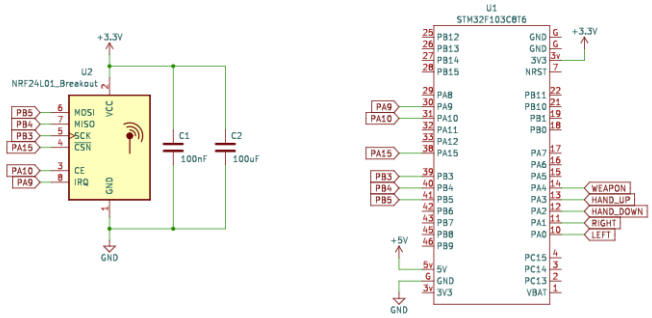
Фигура 5.8.: Печатна платка на робота

5.3 Монтажна схема на робота

Монтажната схема на робота може да бъде намерена в фиг. Б.3. На нея може да се види основната част в робота, представляваща разработената печатна платка, която съдържа радиочестотния модул за комуникация, микроконтролера, управляващ робота, и хардуерните защити на захранването. Нейното захранване индва от 24V батерия DeWalt DE0241 и съгласно изискванията за безопасност във всеки момент то може да бъде прекъснато чрез ключът SW1. Разработената платка захранва и управлява 3 постояннотокови четкови мотори с помощта на драйвери MD13S. С цел мониторинг на тяхната скорост е предвидено на всеки от тях да има монтиран по един оптичен сензор за скорост. Използваният nema 24 стъпков мотор се управлява посредством DM556T драйвер. Начинат на свързване на драйвера към печатната платка е конфигурация общ катод. Съгласно изискванията за безопасност чрез SW1 и SW2 се следи дали стъпковият мотор не е стигнал до крайните си състояния.

5.4 Принципна електрическа схема на пулта за управление

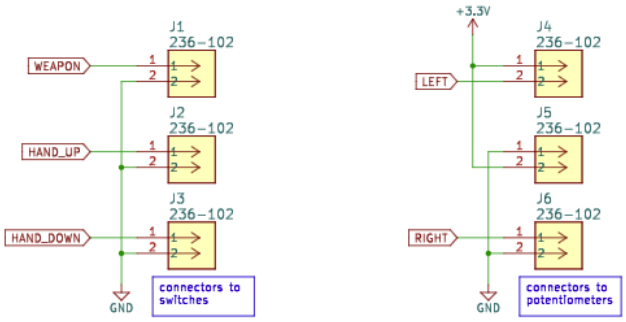
Принципната електрическа схема на печатната платка на дистанционното може да бъде видяна на фиг. Б.4. Основният елемент на схемата е микроконтролерът STM32F103C8T6 (blue pill), който чете данните от сензорите, обработва ги и после ги праща към робота посредством радиочестотния модул. Връзката между него и микроконтролера е идентична на тази описана в раздел 5.1.1. Захранването на пулта за управление на бойния робот се реализира посредством USB извода на използвания микроконтролер.



Фигура 5.9.: Радиочестотен модул в пулта за управление

5.4.1 Сензори

Компонентите, които се използват за четене на инструкциите от пилота на бойния робот са 2 потенциометъра и 3 бутона. Потенциометрите са свързани посредством конекторите J4, J5 и J6. Връзката с бутоните е осъществена чрез конекторите J1, J2 и J3.



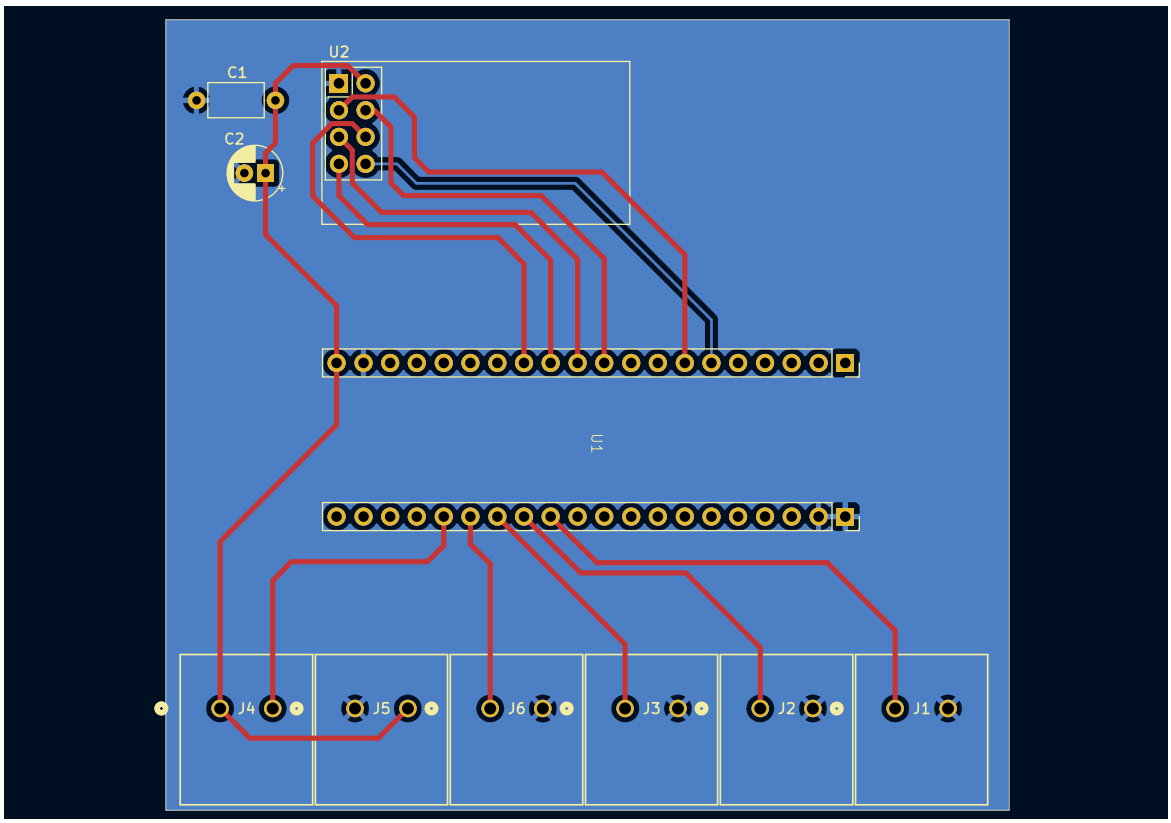
Фигура 5.10.: Сензори в пулта за управление

5.5 Опроводяване на печатната платка на дистанционното

На фиг. 5.8 могат да се видят двата слоя на печатната платка на дистанционното. По проводниците, които могат да се видят, се движат 3,3V. Голямата медна област, която се забелязва се използва за земя. Забелязва се и липсата на монтажни отвори. Причината за тяхното

отсъствие е това, че платката е предвидена да бъде легнала на страна спойки във специално по размери 3D принтирано легло.

В фиг. Б.5 са показани поотделно всеки слой на печатната платка.



Фигура 5.11.: Печатна платка на пулта за управление

6

Софтуерна реализация

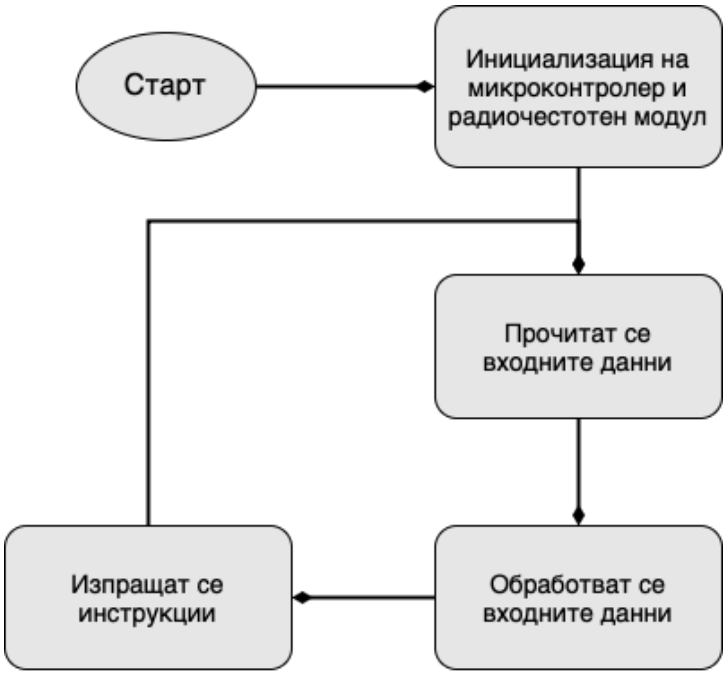
Използваната среда за разработка на софтуерната част от дипломния проект е софтуерния пакет STM32CubbeIDE на STMicroelectronics. Тази платформа е предназначена за изграждане на софтуерното управление на STM микроконтролери и микропроцесори. Чрез интеграцията на GNU GCC компилатор и GBD дебъгер, тя предоставя стабилна среда за разработка на C/C++ програми. В STM32CubbeIDE е интегриран и графичния инструмент STM32CubeMX. Той улеснява конфигурацията и инициализацията на различни части и периферии на микроконтролерите, сред които са пинове, таймери, системни прекъсвания и DMA заявки. Друга основна характеристика на избраната среда за разработка е възможността за подробен дебъгване чрез мониторинг на процесорните ядра, регистрите на периферията, паметта и заделените променливи и други. Софтуерният пакет може да бъде свален безплатно от сайта на STMicroelectronics за 64-битовите версии на операционните системи Windows, Linux и macOS. Поради споменатите причини тази среда за разработка беше използвана за проекта.

6.1 Логическа схема на проекта

Съгласно заданието на дипломния проект разработеният боен робот бива управляван посредством специално изработено дистанционно. Комуникацията между тях бива реализирана посредством радиочестотните модули nRF24L01 на компанията Nordic. Те използват вградения си протокол за комуникация Enhanced ShockBurst, който е предназначен за лесна комуникация с ниска енергийна консумация.

Като се получи захранване микроконтролера и радиочестотния модул в дистанционното биват инициализирани. След това започва непрекъснато повтарящият се на равни интерваи цикъл на работа. Първо се прочитат входните данни от потенциометрите и бутоните. След това те биват обработени и записани в подходящ вид. В края на този цикъл обработените потребителски команди биват записани в пакет

с инструкции за контрол на бойния робот и той бива изпратен към батълбота за изпълнение. После цикъла на работа на дистанционното започва да се изпълнява отначало. Микроконтролерът е настроен да може да бъдат изпращани по 20 пакета с команди в секунда. Това скорост гарантира на пилота възможността да може да управлява своята машина с минимално системно забавяне.



Фигура 6.1.: Логическа схема на дистанционното

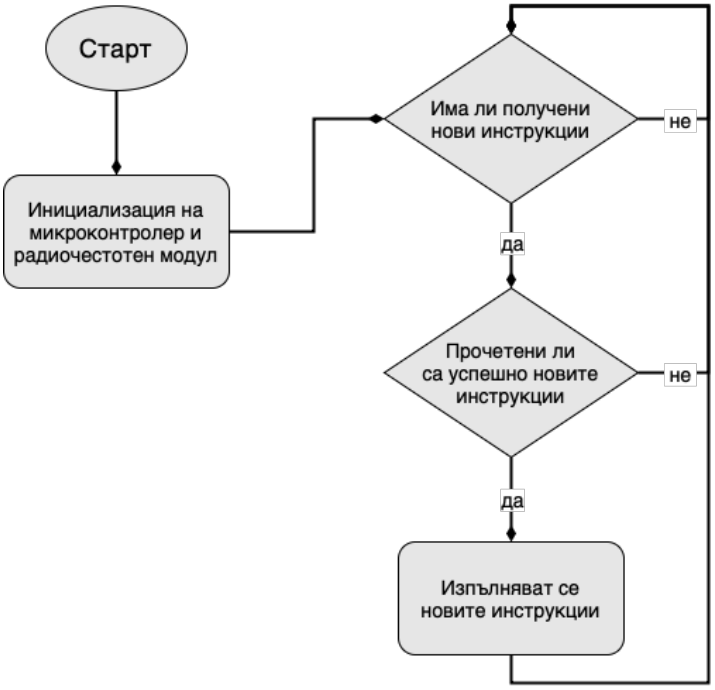
Полетата, които се съдържат в изпратения пакет са инструкция за позицията, на която трябва да застане механичната ръка на робота, инструкции за скоростта и посоката на въртене на двете колела и инструкция за това дали оръжието трябва да се върти. Структурата на такъв пакет може да бъде видяна на Програмен код 6.1.

```
11 typedef struct
12 {
13   int8_t hand_position; // hand position (-100 ~ +100)
14   int8_t left_speed;  // left wheel speed  (-100 ~ +100)
15   int8_t right_speed;  // right wheel speed (-100 ~ +100)
16   uint8_t weapon;  // weapon on/off (0 / 1)
17 } Payload;
```

Програмен код 6.1: Пакет инструкции

Подобно на дистанционното първата работа на печатната платка, когато получи захранване е да се инициализират микроконтролера и

радиочестотния модул. След това започва непрекъснат цикъл на проверяване дали има получен пакет инструкции и ако има се прави опит той да бъде достъпен. При успешното им прочитане те биват заредени в паметта на платката и биват изпълнени. След тази стъпка следва повторно започване на работния цикъл на робота. В случаите, в които няма получени инструкции или не бъде успешно тяхното прочитане, цикъла на работа започва отначало и се спира движението на робота.



Фигура 6.2.: Логическа схема на робота

6.2 Софтуерна реализация на библиотеката на радиочестотния модул

Безжичната комуникация между дистанционното и бойния робот се осъществава посредством радиочестотния модул nRF24L01 на компанията Nordic. За целите на дипломния проект не беше употребявана готова библиотека за управление на избрания модул, а беше разработена собствена такава. За нейната реализация са употребявани функционалностите на вградената HAL библиотека. С цел улеснение на написването на библиотеката, в заглавния файл са дефинирани като макроси адресите в паметта на регистрите и SPI командните думи.

За да може библиотеката да работи, предварително трябва да бъде конфигуриран SPI интерфейса и пиновете, които се използват nRF модула. С цел улеснение на работата с библиотеката е предвидено предварително изводите на радиочестотния модул да имат зададени потребителските етикети NRF24L01_CSN, NRF24L01_CE и NRF24L01_IRQ на съответните им пинове на микроконтролера.

Основните функционалности, които трябва да бъдат реализирани, за да може библиотеката да бъде разработена са писане и четене на регистрите на радиочестотния модул. За да се пише в регистър се подготвя масив с дължина 2 байта. В първия се поставя номера на регистъра, а във втория стойността, която трябва да бъде записана. За да може nRF модула да разбере, че трябва да запише получената стойност, трябва да бъде поставена единица на 5-та позиция от първия байт. Съгласно секция 8.3. "SPI комуникация"от документацията на nRF24L01 всяка SPI операция трябва да бъде започната с падащ фронт на CSN извода на радиочестотния модул. След това се извиква HAL функцията за предаване на информация по SPI интерфейса.

```
37 // write single byte to the particular register
38 void nrf24_write_reg (const uint8_t reg, const uint8_t data)
39 {
40   uint8_t buffer[2];
41   buffer[0] = reg | (1 << 5);
42   buffer[1] = data;
43 
44   // Pull CSN pin LOW to select the device
45   csn_select();
46 
47   HAL_SPI_Transmit(NRF24_SPI, buffer, 2, 1000);
48 
49   // Pull CSN pin HIGH to unselect the divice
50   csn_unselect();
51 }
```

Програмен код 6.2: Писане в регистър

Четенето на регистър се реализира аналогично. При него не се подготвя масив, в който да се постави адреса на регистъра и той не бива редактиран. Вместо това първо се използва HAL функцията за предаване на номера на регистъра, който трябва да бъде прочетен, и след това се използва HAL функцията за получаване на данни по SPI.

```
72 // read single byte from the particular register
```

```
73 uint8_t nrf24_read_reg (uint8_t reg)
74 {
75   uint8_t data = 0;
76
77   // Pull CSN pin LOW to select the device
78   csn_select();
79
80   HAL_SPI_Transmit(NRF24_SPI, &reg, 1, 100);
81   HAL_SPI_Receive(NRF24_SPI, &data, 1, 100);
82
83   // Pull CSN pin HIGH to unselect the divice
84   csn_unselect();
85
86   return data;
87 }
```

Програмен код 6.3: Четене на регистър

Основната част от регистрите в паметта на използвания nRF модул са с размер 1 байт, но тези, които съхраняват адреси за каналите за комуникация 0 и 1 имат 5 пъти по-голяма дължина. Поради тази причина са написани функциите nrf24_write_reg_multi() и nrf24_read_reg_multi(), които съответно могат да бъдат видени на Програмен код 6.4 и Програмен код 6.5. Те са реализирани аналогично на по-малките им подобни функции.

```
52 // write multiple bytes to the particular register
53 void nrf24_write_reg_multi (const uint8_t reg, const uint8_t *data, const size_t
       size)
54 {
55   uint8_t buffer[6];
56   buffer[0] = reg | (1 << 5);
57   buffer[1] = data[0];
58   buffer[2] = data[1];
59   buffer[3] = data[2];
60   buffer[4] = data[3];
61   buffer[5] = data[4];
62
63   // Pull CSN pin LOW to select the device
64   csn_select();
65
66   HAL_SPI_Transmit(NRF24_SPI, buffer, size + 1, 1000);
67
68   // Pull CSN pin HIGH to unselect the divice
69   csn_unselect();
70 }
```

Програмен код 6.4: Писане на големи регистри

```
88 // read multiple bytes from the particular register
89 void nrf24_read_reg_multi (uint8_t reg, uint8_t *data, const size_t size)
90 {
91   // Pull CSN pin LOW to select the device
92   csn_select();
93 
94   HAL_SPI_Transmit(NRF24_SPI, &reg, 1, 100);
95   HAL_SPI_Receive(NRF24_SPI, data, size, 1000);
96 
97   // Pull CSN pin HIGH to unselect the device
98   csn_unselect();
99 }
```

Програмен код 6.5: Четене на големи регистри

6.2.1 Инициализация на модула

При получаване на захранване първата задача на микроконтролера и радио модула е да бъдат конфигурирани. Инициализацията на първия може да бъде видяна в раздел 6.3.1 и раздел 6.4.1. Привеждането на радиочестотния модул в състояние, което позволява безжично предаване на информация е осъществено като се извикват една след друга първо функцията за инициализация на модула и след това и допълнителна такава, с която се пояснява дали същия е предавател или получател на информацията.

При началото на инициализацията на CE пина се подава ниско ниво за да се гарантира, че няма да се активира механизма за изпращане на данни. След това се подават зануляват стойностите на CONFIG и RF_CH регистрите. Те следва да бъдат редактирани при задаването на роля на модула(предавател или приемник). Чрез записване на 0 в EN_AA регистъра се изключват автоматичните потвърждения по време на безжичното предаване. В регистъра EN_RXADDR стойността 0 спира употребата на 6-те информационни канала. За да се дефинира дължината на адреса да бъде 5 байта в регистъра SETUP_AW са поставени единици на битове 0 и 1. Последния регистър, който се конфигурира в рамките на тази функция е RF_SETUP. Чрез поставяне на 0 на 3 бит в него се задава скоростта на предаване на информация да бъде 1Mbps, а посредством единици на битове 1 и 2, мощността на предаване на изхода на радиото е 0dBm.

```
145 // initialize the RF module
146 void NRF24_init (void)
147 {
148   // disable the device before initializing
149   ce_disable();
150 
151   nrf24_write_reg(CONFIG, 0);  // to be configured later
152   nrf24_write_reg(EN_AA, 0);   // No auto ACK
153   nrf24_write_reg(EN_RXADDR, 0); // disabling the data pipes
154   nrf24_write_reg(SETUP_AW, 0x03); // TX/RX address length = 5 bytes
155   nrf24_write_reg(SETUP_RETR, 0); // No retransmissions
156   nrf24_write_reg(RF_CH, 0);  // will be set up during TX or RX configuration
157   nrf24_write_reg(RF_SETUP, 0x06); // Output power = 0db, data rate = 1 Mbps
158 }
```

Програмен код 6.6: Инициализация на радио модула

След функцията за инициализиране на nRF модула се извиква функция, която да пояснява дали модула е предавател или получател на данни. В Програмен код 6.7 може да бъде видяна процедурата за конфигуриране предавател. Първо се задава в регистър RF_CH честотата (канала), на която ще се предава информацията. След това се записва 5 байтовия адрес на получателя в TX_ADDR регистъра. После без да се редактира останалата част от регистъра в CONFIG се поставят единица на бит 1 и се оставя нула на бит 0 съответно за да се стартира дейността на радиочестотния модул и за да се влезе в режим на изпращач на информация.

```
164 void NRF24_TX_mode (const uint8_t *address, const uint16_t channel)
165 {
166   nrf24_write_reg(RF_CH, channel);  // select the frequency channel
167   nrf24_write_reg_multi(TX_ADDR, address, 5); // set up the TX address
168 
169   // power up the device
170   uint8_t config = nrf24_read_reg(CONFIG);
171   config |= (1 << 1);  // Power up; PTX
172   nrf24_write_reg(CONFIG, config);
173 }
```

Програмен код 6.7: Конфигуриране на изпращач на данни

Подобно на последно разглежданата функция NRF24_RX_mode() започва със задаване на честотата на предаване на информация. След това без да се редактира останалата част от регистъра EN_RXADDR се поставя единица на бит 1 поради за да се позволи употребата на

информационен канал 1. После се записва 5 байтовия адрес на изпращача на информация в RX_ADDR_P1 регистъра. За да се дефинира дължината на пакета данни, който ще се изпраща безжично, се записва големината на структурата Payload в регистъра RX_PW_P1. След това без да се реактира останалата му част в CONFIG регистъра се поставят единици на битове 0 и 1 съответно за да се стартира дейността на радиочестотния модул и за да се влезе в режим на получател на данни. В края на тази функция CE пина бива поставен във високо състояние и се държи в това през целия период на работа. В случай, че CE мине в ниско ниво, nRF модула ще излезе от режима на получател.

```
234 void NRF24_RX_mode (const uint8_t *address, const uint16_t channel)
235 {
236   nrf24_write_reg(RF_CH, channel);  // select the frequency channel
237 
238   // select data pipe 1
239   uint8_t en_rxaddr = nrf24_read_reg(EN_RXADDR);
240   en_rxaddr |= (1 << 1);
241   nrf24_write_reg(EN_RXADDR, en_rxaddr);
242 
243   nrf24_write_reg_multi(RX_ADDR_P1, address, 5); // set up the TX address
244 
245   nrf24_write_reg(RX_PW_P1, sizeof(Payload));  // payload lenght of pipe 1
246 
247   // power up the device
248   uint8_t config = nrf24_read_reg(CONFIG);
249   config |= (1 << 1) | (1 << 0);  // Power up; PRX
250   nrf24_write_reg(CONFIG, config);
251 
252   // enable the device after configuring
253   ce_enable();
254 }
255 
256 // check if data is received on specific pipeline
```

Програмен код 6.8: Конфигуриране на получател на данни

Стойностите, които са избрани за скорост на безжичното предаване, мощността на предаване на изхода на nRF модула и честотата на излъчване на сигнали са подбрани такива, че да осигуряват максимален обхват на безжичната комуникация.

6.2.2 Изпращане на информация

Изпращането на пакет инструкции от дистанционното към робота се извършва посредством функцията NRF24_transmit(). Първата стъпка от нейното изпълнение е пакета с инструкции да бъде зареден в паметта на радио модула, посредством функцията, която може да бъде видяна в Програмен код 6.10. След това се генерира импулс на CE извода по-дълъг от 10us. Съгласно секция 6.1.5. "режим предаване"от документацията на nRF24L01 при такъв импулс в режима за изпращане на данни, записаните в паметта на модула пакети инструкции започват да се излъчват. Останалата част на функцията проверява дали пакетите са били изпратени успешно като проверява съдържанието на FIFO_STATUS регистъра. Ако четвъртият бит в него е вдигнат означава, че пакета е бил успешно изпратен.

```
204 // transmit the data
205 int NRF24_transmit (const Payload *payload)
206 {
207   push_payload(payload);
208 
209 
210   ce_enable();
211   HAL_Delay(1); // data send
212   ce_disable();
213 
214 
215   csn_select();
216 
217   uint8_t fifostatus = nrf24_read_reg(FIFO_STATUS);
218   if ((fifostatus & (1 << 4)) && !(fifostatus & (1 << 3)))
219   {
220     nrf24_write_cmd(FLUSH_TX);
221 
222     csn_unselect();
223     return 0; // success
224   }
225 
226   csn_unselect();
227   return 1; // failure
228 }
```

Програмен код 6.9: Изпращане на пакет инструкции

Когато се зарежда пакет инструкции в паметта на радиочестотния модул, първо се проверява дали пакета не е твърде голям. В случай, че е опита за безжично изпращане на инструкциите бива прекратен.

Останалата част от зареждането на пакета наподобява значително функциите за писане в регистри. Първо се заделя масив от еднобайтови променливи. След това на първа позиция в масива се записва SPI командата за записване на пакета в паметта на модула и чрез функцията memcpy() се записва съдържанието на пакета в масива от втория елемент нататък. Както беше споменато в предишната секция следва да се направи падащ фронт на пин CSN. Когато буфера е вече готов, той бива зареден в паметта, чрез HAL функцията за предаване на информация по SPI интерфейса. Накрая функцията завършва като CSN пина ве върне в свойто предишно състояние.

```
175 int push_payload (const Payload *payload)
176 {
177   if (32 < sizeof(Payload))
178   {
179      return 1; // too big size
180   }
181 
182   uint8_t *buffer = (uint8_t*) calloc(sizeof(Payload) + 1, sizeof(uint8_t));
183   if (NULL == buffer)
184   {
185      return 2; // calloc error
186   }
187 
188   buffer[0] = W_TX_PAYLOAD;
189   memcpy(buffer + 1, payload, sizeof(Payload));
190 
191   // Pull CSN pin HIGH to LOW
192   csn_unselect();
193   csn_select();
194 
195   HAL_SPI_Transmit(NRF24_SPI, buffer, sizeof(Payload) + 1, 1000);
196 
197   free(buffer);
198 
199   // Pull CSN pin HIGH to unselect the device
200   csn_unselect();
201   return 0; // success
202 }
```

Програмен код 6.10: Зареждане на пакет инструкции

6.2.3 Получаване на информация

Получаването на пакети с инструкции се реализира чрез две функции. Първата проверява дали има нова получена информация в радио моду-

ла, а втората е същинското и извличане в паметта на микроконтролера. Проверката се осъществява като се прочита STATUS регистъра. Ако бит 6 е единица следва, че има получени нови команди, а в битове 1, 2 и 3 е запазен номера на информационния канал, от който е получената информация. След това стойността на същия регистър се рестартира и функцията връща резултат, показващ, че има получени данни.

```
256 // check if data is received on specific pipeline
257 int is_data_received (const int pipenum)
258 {
259   csn_select();
260 
261   uint8_t status = nrf24_read_reg(STATUS);
262 
263   if ((status&(1 << 6)) && (status&(pipenum << 1)))
264   {
265     nrf24_write_reg(STATUS, (1 << 6));
266 
267     csn_unselect();
268     return 0; // data received; success
269   }
270 
271   csn_unselect();
272   return 1; // data not received; success
273 }
```

Програмен код 6.11: Проверка дали има получен пакет инструкции

Във функцията за извличане на данни първата първо се дефинират двата помощни масива. В първия се записва SPI командата R_RX_PAYLOAD, която се използва за да се извлече получения нов пакет информация, а във втория следва тя да се бъде записана. След това посредством HAL функцията за предаване и получаване на информация по SPI интерфейса командата се изпраща до радиочестотния модул и сеполучава резултата във втория помощен масив. После чрез функцията memcpy() информацията се премества от помощния регистър в желаната променлива.

```
275 // receive data
276 int NRF24_receive (Payload *payload)
277 {
278   // select the device
279   csn_select();
280 
281   // payload command
282   uint8_t TX_buffer[sizeof(Payload) + 1];
283   TX_buffer[0] = R_RX_PAYLOAD;
```

```
284
285   uint8_t RX_buffer[sizeof(Payload) + 1];
286
287   // receive the payload
288   HAL_SPI_TransmitReceive(NRF24_SPI, TX_buffer, RX_buffer, sizeof(Payload) + 1,
          1000);
289
290   memcpy(payload, RX_buffer + 1, sizeof(Payload) + 1);
291
292
293   HAL_Delay(1);
294
295   // unselect the device
296   csn_unselect();
297
298   return 0; // success
299 }
```

Програмен код 6.12: Получаване на пакет инструкции

6.3 Софтуерна реализация на дистанционното

6.3.1 Инициализация на микроконтролера на дистанционното

След като получи захранването си микроконтролера преминава през серия от процеси, които трябва да конфигурират използваните периферии, изводи и променливи. Посредством функцията HAL_Init() се рестартират всички периферии и се инициализират HAL библиотеката и всички нейни функционалности. След това чрез SystemClock_Config() се конфигурира системния таймер. После следва конфигурацията на изводите на микроконтролера. Една от тях може да бъде видяна в Програмен код 6.13. За това кой пин как е конфигуриран и за какво се използва може да се разбере от таблица **??**. След това се инициализира SPI връзката с nRF модула. Чрез MX_TIM4_Init() се инициализира таймер 4, с помощта на когото се изпращат пакетите с инструкции на равни периоди. След това се инициализират и двата аналогово-цифрови преобразувателя, които се използват за четене на състоянието на потенциометрите. Последната инициализация е тази на радиочестотния

модул и се задава неговия режим на работа. Преди да започне повтарящият се цикъл на работа таймера се стартира и се пуска калибрация на аналогово-цифровите преобразуватели.

```
72   /*Configure GPIO pin : PtPin */
73   GPIO_InitStruct.Pin = WEAPON_Pin;
74   GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_IT_FALLING;
75   GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_PULLUP;
76   HAL_GPIO_Init(WEAPON_GPIO_Port, &GPIO_InitStruct);
```

Програмен код 6.13: Конфигуриране на пин

6.3.2 Работен цикъл на дистанционното

Както е описано в раздел 6.1 цикъла на работа се повтаря на равни интервали. Това е постигнато посредством прекъсването при преливане на таймер 4. Той е конфигуриран така, че прекъсването да бъде генерирано на всяка десета от секундата. След извикването на прекъсването се вдига флага send_flag. При това действие се прочитат състоянията на потенциометрите и се записват на полетата за скорост на лявото и дясното колело. Това е последвано от извикването на функцията за калибриране на данните. В края на този цикъл се инициира изпращане на пакета с инструкциите и при успех се сменя състоянието на вградения светодиод.

```
113  /* Infinite loop */
114  /* USER CODE BEGIN WHILE */
115  while (1)
116  {
117    if (send_flag)
118    {
119      send_flag = 0;
120
121      HAL_ADC_Start_IT(&hadc1);
122      HAL_ADC_Start_IT(&hadc2);
123      payload_manipulation();
124
125      if (0 == NRF24_transmit(&payload))
126      {
127    HAL_GPIO_TogglePin(GPIOC, GPIO_PIN_13);
128      }
129    }
130
131    /* USER CODE END WHILE */
```

```
132
133     /* USER CODE BEGIN 3 */
134   }
```

Програмен код 6.14: Работен цикъл

Успоредно на това има конфигурирани и външни прекъсвания. Те имат функцията да редактират позицията на ръката и да пускат или спират движението на оръжието.

6.4 Софтуерна реализация на управлението на робота

6.4.1 Инициализация на микроконтролера на робота

След като получи захранването си микроконтролера преминава през серия от процеси, които трябва да конфигурират използваните периферии, изводи и променливи. Посредством функцията HAL_Init() се рестартират всички периферии и се инициализират HAL библиотеката и всички нейни функционалности. След това чрез SystemClock_Config() се конфигурира системния таймер. После следва конфигурацията на изводите на микроконтролера. Една от тях може да бъде видяна в Програмен код 6.15. За това кой пин как е конфигуриран и за какво се използва може да се разбере от таблица табл. A.2. След това се инициализира SPI връзката с nRF модула. Чрез функциите MX_TIM3_Init(), MX_TIM2_Init() и MX_TIM4_Init() се инициализират таймери 2, 3 и 4. Таймер 3 се използва за генериране широчинно импулсен сигнал за контролиране на скоростта на въртене на четковите мотори, а 4-тия се използва за измерване на тяхната скорост. Таймер 2 се използва за генерирането на импулси за движението на робота. След това се инициализира радиочестотния модул и се задава неговия режим на робота. Чрез функцията HAL_TIM_PWM_Start() се стартира генерирането на широчинно импулсния сигнал. Преди да започне повтарящият се цикъл на работа и таймери 2 и 4 се стартират.

```
72   /*Configure GPIO pin : PtPin */
73   GPIO_InitStruct.Pin = WEAPON_Pin;
74   GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_IT_FALLING;
```

```
75   GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_PULLUP;
76   HAL_GPIO_Init(WEAPON_GPIO_Port, &GPIO_InitStruct);
```

Програмен код 6.15: Конфигуриране на пин

6.4.2 Работен цикъл на робота

Както е описано в раздел 6.1 цикъла на работа започва с проверка на това дали има получен нов пакет инструкции. Ако има получен такъв се извиква функцията за извличане на данните от радиочестотния модул и ако е успешна се извиква функцията, която прилага инструкциите.

```
122  while (1)
123  {
124    // TODO: replace the pooling
125    if (0 == is_data_received(1))
126    {
127      if (0 == NRF24_receive(&payload))
128      {
129      unload_payload();
130      }
131    }
132    /* USER CODE END WHILE */
133
134    /* USER CODE BEGIN 3 */
135  }
```

Програмен код 6.16: Работен цикъл

Функцията за прилагането на инструкциите е съставена от помощни функции. Първо чрез функцията get_brushed_DIR() се проверява в коя посока кой от четковите мотори трябва да се върти и се задава съответната стойност на съответния извод. След това посредством get_brushed_DIR() се задава какъв трябва да бъде коефициента на запълване на широчинно-импулсния сигнал, който се използва за дава каква трябва да бъде скоростта на въртене на четковите мотори.

```
249 void get_brushed_DIR(void)
250 {
251   HAL_GPIO_WritePin(DISK_DIR_GPIO_Port, DISK_DIR_Pin, SET);
252
253   if (payload.left_speed < 0)
254   {
255     payload.left_speed *= -1;
```

```
256     HAL_GPIO_WritePin(WHEEL_LEFT_DIR_GPIO_Port, WHEEL_LEFT_DIR_Pin, RESET);
257   }
258   else
259   {
260     HAL_GPIO_WritePin(WHEEL_LEFT_DIR_GPIO_Port, WHEEL_LEFT_DIR_Pin, SET);
261   }
262
263   if (payload.right_speed < 0)
264   {
265     payload.right_speed *= -1;
266     HAL_GPIO_WritePin(WHEEL_RIGHT_DIR_GPIO_Port, WHEEL_RIGHT_DIR_Pin, RESET);
267   }
268   else
269   {
270     HAL_GPIO_WritePin(WHEEL_RIGHT_DIR_GPIO_Port, WHEEL_RIGHT_DIR_Pin, SET);
271   }
272 }
273
274 void get_brushed_PWM(void)
275 {
276   // ARR => TOP
277   TIM3->CCR2 = enable[0] * payload.weapon * TIM3->ARR;
278   TIM3->CCR3 = enable[2] * payload.left_speed * TIM3->ARR;
279   TIM3->CCR4 = enable[1] * payload.right_speed * TIM3->ARR;
280 }
```

Програмен код 6.17: Управление на четковите мотори

Последната функция, която се извиква във функцията unload_payload() се казва get_hand_DIR(). Тя се използва за да се определя посоката на движение на стъпковия мотор. Импулсите за колко стъпки да бъдат направени се генерират чрез прекъсването при преливане на таймер 2. Функцията за обработка на прекъсването може да бъде видяна в прогр. код 6.20.

```
282 void get_hand_DIR(void)
283 {
284   if (hand_enable[0] && payload.hand_position < 0)
285   {
286     payload.hand_position *= -1;
287     HAL_GPIO_WritePin(HAND_DIR_GPIO_Port, HAND_DIR_Pin, RESET);
288   }
289   else if (hand_enable[1])
290   {
291     HAL_GPIO_WritePin(HAND_DIR_GPIO_Port, HAND_DIR_Pin, SET);
292   }
293   else
294   {
295     payload.hand_position = 0; // stop
296   }
```

```
297 }
```

Програмен код 6.18: Управление на стъпковия мотор

6.4.3 Сензори за обратна връзка

Съгласно изискванията за безопасност описани в раздел 3.1 са имплементирани и двата крайни изключвателя за ръката. Те са свързани към изводи на микроконтролера, за които има конфигурирани външни прекъсвания, които се генерират при падащ и нарастващ фронт на вълната. Когато такова прекъсване се появи се вдига флаг, който спира работата на движението на ръката докато ръката не отвори отново крайния изключвател.

```
184 void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)
185 {
186   if (GPIO_Pin == OPT_END_DISK_Pin)
187   {
188     cycles[0]++;
189   }
190   if (GPIO_Pin == OPT_END_WHEEL_RIGHT_Pin)
191   {
192     cycles[1]++;
193   }
194   if (GPIO_Pin == OPT_END_WHEEL_LEFT_Pin)
195   {
196     cycles[2]++;
197   }
198 
199 
200 
201   if (GPIO_Pin == HAND_END_RIGHT_Pin)
202   {
203     hand_enable[0] = !hand_enable[0];
204   }
205   if (GPIO_Pin == HAND_END_LEFT_Pin)
206   {
207     hand_enable[1] = !hand_enable[1];
208   }
209 }
```

Програмен код 6.19: Външни прекъсвания

В проекта има монтирани и оптични сензори, чрез които се следи приблизителната скорост на четковите мотори. Тази функционалност

е реализирана посредством външни прекъсвания и прекъсване при преливане. При генерирането на първото се увеличава променлива, която съдържа броя завъртания на съответния мотор. Чрез прекъсването при преливане на таймер 4, на равни интервали от време, се проверява дали има направени завъртания за текущия период. Ако няма направени следва да бъде забранено на съответния мотор да се върти известно време.

```
211 void HAL_TIM_PeriodElapsedCallback(TIM_HandleTypeDef* htim)
212 {
213   if (&htim2 == htim)
214   {
215     if (2 * payload.hand_position != hand_counter)
216     {
217       hand_counter++;
218       HAL_GPIO_TogglePin(HAND_PWM_GPIO_Port, HAND_PWM_Pin);
219     }
220     else
221     {
222       payload.hand_position = 0;
223       hand_counter = 0;
224     }
225   }
226 
227   if (&htim4 == htim)
228   {
229     for (int i = 0; i < 3; i++)
230     {
231       if (enable[i] && 0 == cycles[i])
232       {
233     enable[i] = 0;
234     cycles[i] = 0;
235       }
236       else if (!enable[i] && 4 > cycles[i])
237       {
238     cycles[i]++;
239       }
240       else
241       {
242     enable[i] = 1;
243     cycles[i] = 0;
244       }
245     }
246   }
247 }
```

Програмен код 6.20: Прекъсвания при преливане

7

Заключение

7.1 Постигнати резултати

Успешно е реализирано проектирането и изработката на механичното конструкция на бойния робот. Осъществен е и контрола на движението на постояннотоковите четкови мотори посредством широчинно-импулсен сигнал. Инсталирани са и са тествани оптични сензори, с които се мери скоростта на четковите мотори. Реализирано е и управлението на стъпковия мотор на механичната ръка. Инсталирани са и крайните изключватели, които да следят да не се преминават крайните позиции от ръката. Постигната е и безжичната радиовръзка робот - пулт за управление. По време на проектирането на дипломния проект бяха спазени всички изисквания от правила на Tues BattleBots 2024 и дефинираните функции за безопасност.

7.2 Бъдещо развитие

Основните недостатъци на разработения дипломен проект са свързани с избрания радиочестотен модул и неговата употреба в проекта. Избраният модул въпреки, че има възможността да предава и получава повече от достатъчно количество информация на голямо разстояние, не може да го прави едновременно. За да се постигне двупосочна комуникация трябва постоянно да се преконфигурира неговият режим на работа.

Разработената безжична комуникация е постигната без употребата на криптиране на инструкциите към робота. Този факт излага на риск хората и техниката около робота поради причината, че се дава възможност на злонамерени лица да управляват робота.

Към момента на предаване на дипломния проект има реализирана функция за отмерване на скоростта на постояннотоковите мотори, но тази информация е достъпна само за микроконтролера в робота. На

пулта за управление може да бъде добавен дисплей и да се разработи графичен интерфейс, който да показва отмерените скорости, състоянието на оръжието и друга информация като нивото на батерията на робота.

А

Списъци на използваните пинове и компоненти

Таблица А.1.: Използвани елементи в печатната платка на робота

Вид	**Продуктов номер / Размер**	**Reference(s)**	**брой**
Електролитен Конден-затор	100uF	C1, C5, C8	3
Керамичен Конденза-тор	100nF	C2, C3, C4, C6, C7, C9, C10, C11, C12	9
Ценеров диод	BZX85C10-TAP	D1	1
Двупосочен трансил	P6KE27CA	D3	1
Оптрони	HCPL-2531	IC1, IC2, IC3	3
Клема 2 пина	236-102	J1, J3, J4, J7, J16, J6, J9, J18, J13, J14, J15	11
Клема 4 пина	236-104	J2, J10, J11	1
Клема 1 пин	236-401	J5, J8, J12, J17	4
Бобина	2.2uH	L1	1
P-MOS транзистор	IXTP120P065T	Q1	1
Резистор	8.2kR	R1	1
Резистор	680R	R2, R3, R4	3
Линеен регулатор	L7805	U3, U4	2
Преобразувател на ло-гическото ниво	CD40109BE	U12	1
Гнездо за бушон	3522-2	X1	1

Таблица А.2.: Конфигурация на изводите на микроконтролера на робота

Pin No.	User label	GPIO mode	GPIO pull-up	GPIO function
PA1	HAND_PWM	GPIO_OUTPUT	NO	Чрез таймер 2 се генерират импулси за управление на стъпковия мотор
PA2	HAND_DIR	GPIO_OUTPUT	NO	Управлява се посоката на движение на стъпковия мотор
PA4	DISK_DIR	GPIO_OUTPUT	NO	Управлява се посоката на движение на мотора за оръжието
PA5	WHEEL_LEFT_DIR	GPIO_OUTPUT	NO	Управлява се посоката на движение на мотора за лявото колело
PA6	WHEEL_RIGHT_DIR	GPIO_OUTPUT	NO	Управлява се посоката на движение на мотора за дясното колело
PA7	DISK_PWM	TIM3_CH2	NO	Чрез канал 2 на таймер 3 се генерира ШИМ сигнал за управление на скоростта на мотора за оръжието
PB0	WHEEL_LEFT_PWM	TIM3_CH3	NO	Чрез канал 3 на таймер 3 се генерира ШИМ сигнал за управление на скоростта на мотора за лявото колело
PB1	WHEEL_RIGHT_PWM	TIM3_CH4	NO	Чрез канал 4 на таймер 3 се генерира ШИМ сигнал за управление на скоростта на мотора за дясното колело
PB14	HAND_END_LEFT	GPIO_EXTI14	PULL-UP	Чрез външното прекъсване на този пин, генерирано при падащ и растящ фронт, се предотвратява излизането на стъпковия мотор извън крайното си състояние

Cont'd on following page

Pin No.	User label	GPIO mode	GPIO pull-up	GPIO function
PB15	HAND_END_RIGHT	GPIO_EXTI15	PULL-UP	Чрез външното прекъсване на този пин, генерирано при падащ и растящ фронт, се предотвратява излизането на стъпковия мотор извън крайното си състояние
PB7	OPT_END_WHEEL_RIGHT	GPIO_EXTI7	PULL-UP	Чрез външното прекъсване на този пин, генерирано при падащ фронт, се проследява каква е скоростта на мотора за дясното колело
PB8	OPT_END_WHEEL_LEFT	GPIO_EXTI8	PULL-UP	Чрез външното прекъсване на този пин, генерирано при падащ фронт, се проследява каква е скоростта на мотора за лявото колело
PB9	OPT_END_WHEEL_DISK	GPIO_EXTI9	PULL-UP	Чрез външното прекъсване на този пин, генерирано при падащ фронт, се проследява каква е скоростта на мотора за оръжието
PB5	SPI1_MOSI	SPI1_MOSI	NO	Използва се за MOSI пин при помуникацията с радиочестотния модул
PB4	SPI1_MISO	SPI1_MISO	NO	Използва се за MISO пин при помуникацията с радиочестотния модул
PB3	SPI1_SCK	SPI1_SCK	NO	Използва се за SCK пин при помуникацията с радиочестотния модул
PA10	NRF24L01_IRQ	GPIO_EXTI10	NO	Чрез външното прекъсване на този пин, генерирано при падащ фронт, се известява за това, че има получен пакет информация

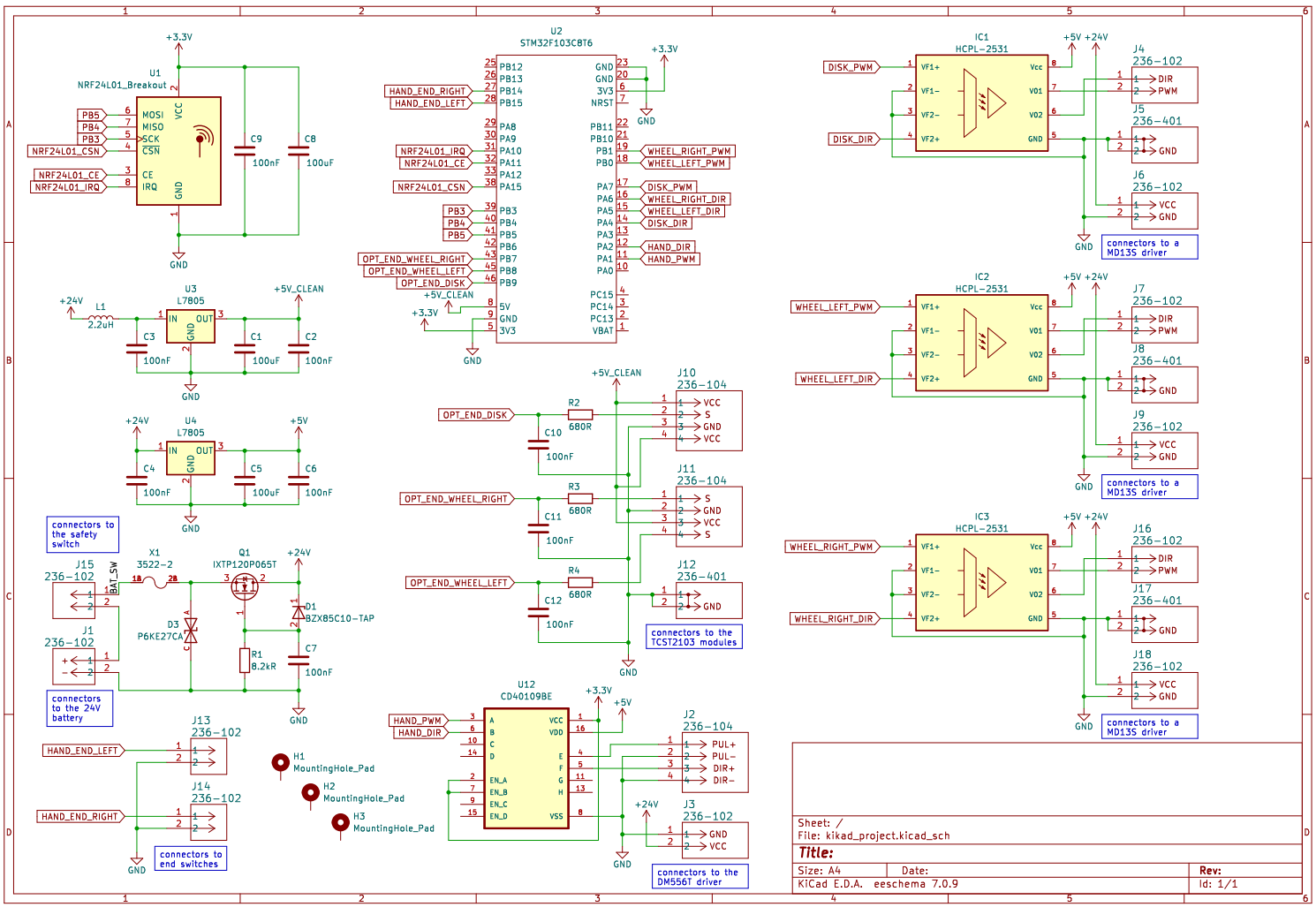
Cont'd on following page

Pin No.	User label	GPIO mode	GPIO pull-up	GPIO function
PA11	NRF24L01_CE	GPIO_OUTPUT	NO	Управлява се дали може да се изпращат и получават данни
PA15	NRF24L01_CSN	GPIO_OUTPUT	NO	Управлява се дали може да се четат и пишат регистрите на радиочестотния модул

Б

Схеми на използваните печатните платки

Фигура Б.1.: На следващата страница е електрическата схема на робота


U1
NRF24L01_Breakout
U2
STM32F103C8T6
U3
L7805
U4
L7805
IC1
HCPL-2531
IC2
HCPL-2531
IC3
HCPL-2531
U12
CD40109BE
X1
3522-2
Q1
IXTP120P065T
D1
BZX85C10-TAP
D3
P6KE27CA
L1
2.2uH
R1
8.2kR
R2
680R
R3
680R
R4
680R
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
C9
C10
C11
C12
100nF
100uF
J1
J2
J3
J4
J5
J6
J7
J8
J9
J10
J11
J12
J13
J14
J15
J16
J17
J18
H1
MountingHole_Pad
H2
MountingHole_Pad
H3
MountingHole_Pad
connectors to the safety switch
connectors to the 24V battery
connectors to end switches
connectors to the TCST2103 modules
connectors to the DM556T driver
connectors to a MD13S driver
connectors to a MD13S driver
connectors to a MD13S driver
Sheet: /
File: kikad_project.kicad_sch
Title:
Size: A4
Date:
Rev:
KiCad E.D.A. eeschema 7.0.9
Id: 1/1

Фигура Б.2.: Печатна платка на робот

Следващите 7 изображения са отделните слоеве на печатната платка в робота. Те са в мащаб 1:1 и са наредени в следния ред: Мед, страна компоненти

Мед, страна спойки

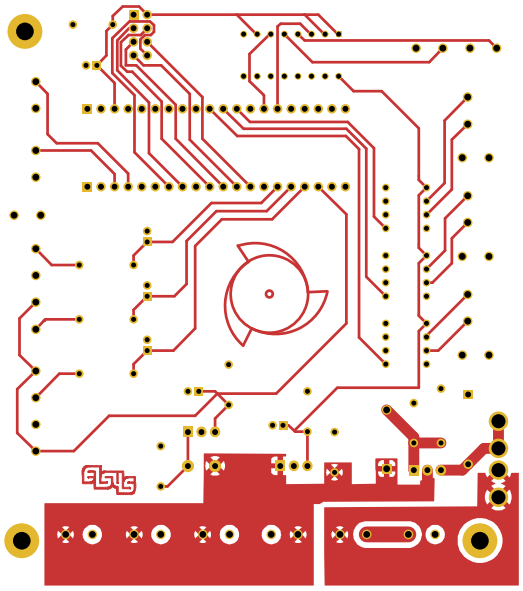
Ситопечат, страна компоненти

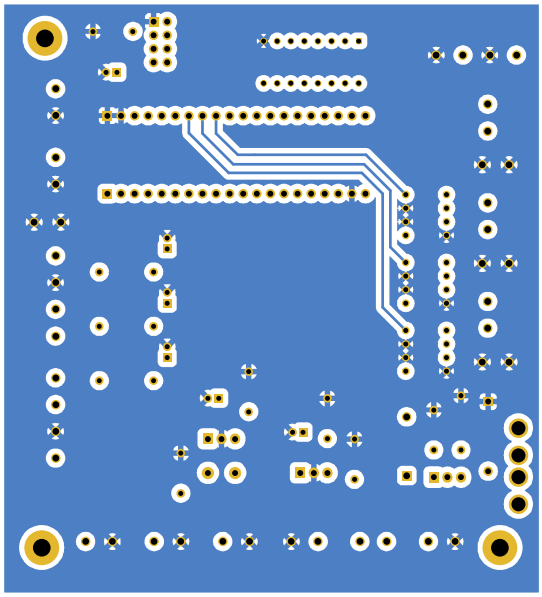
Ситопечат, страна спойки

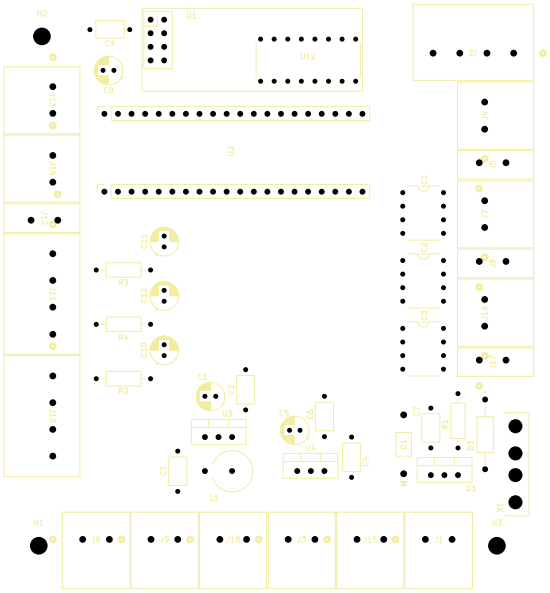
солдер маска, страна компоненти

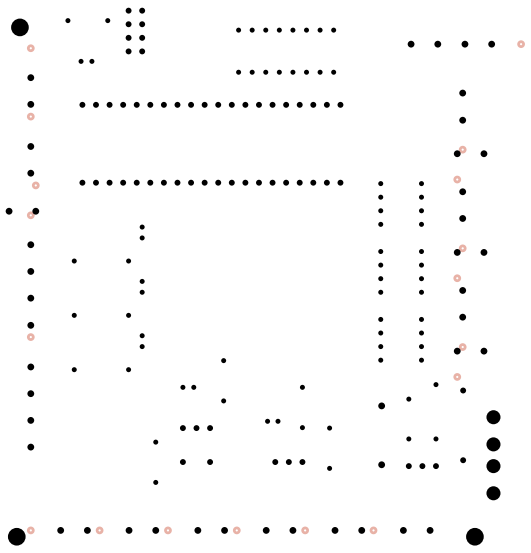
солдер маска, страна спойки

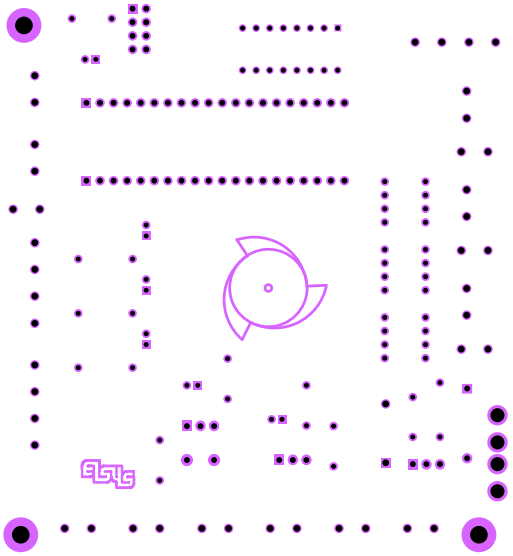
Ръбове и отвори

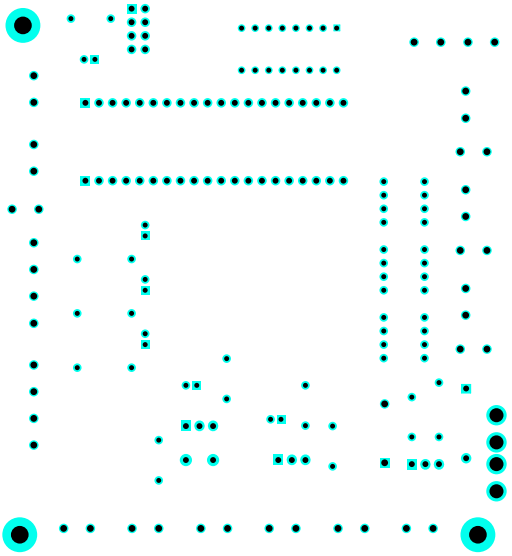


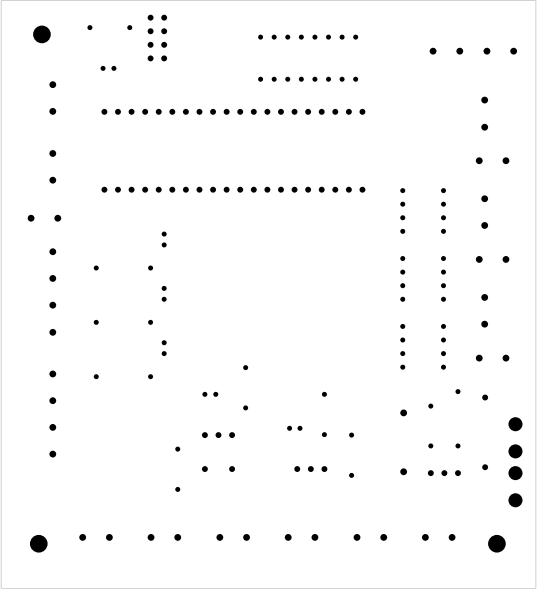



H2
U1
C9
C8
U12
J4
J5
J6
J7
J8
J9
J10
J11
J12
U2
C11
C12
C10
R3
R4
R2
C1
C2
U3
C5
C6
U4
C4
C3
L1
C7
R1
R5
D1
J2
H1
H3

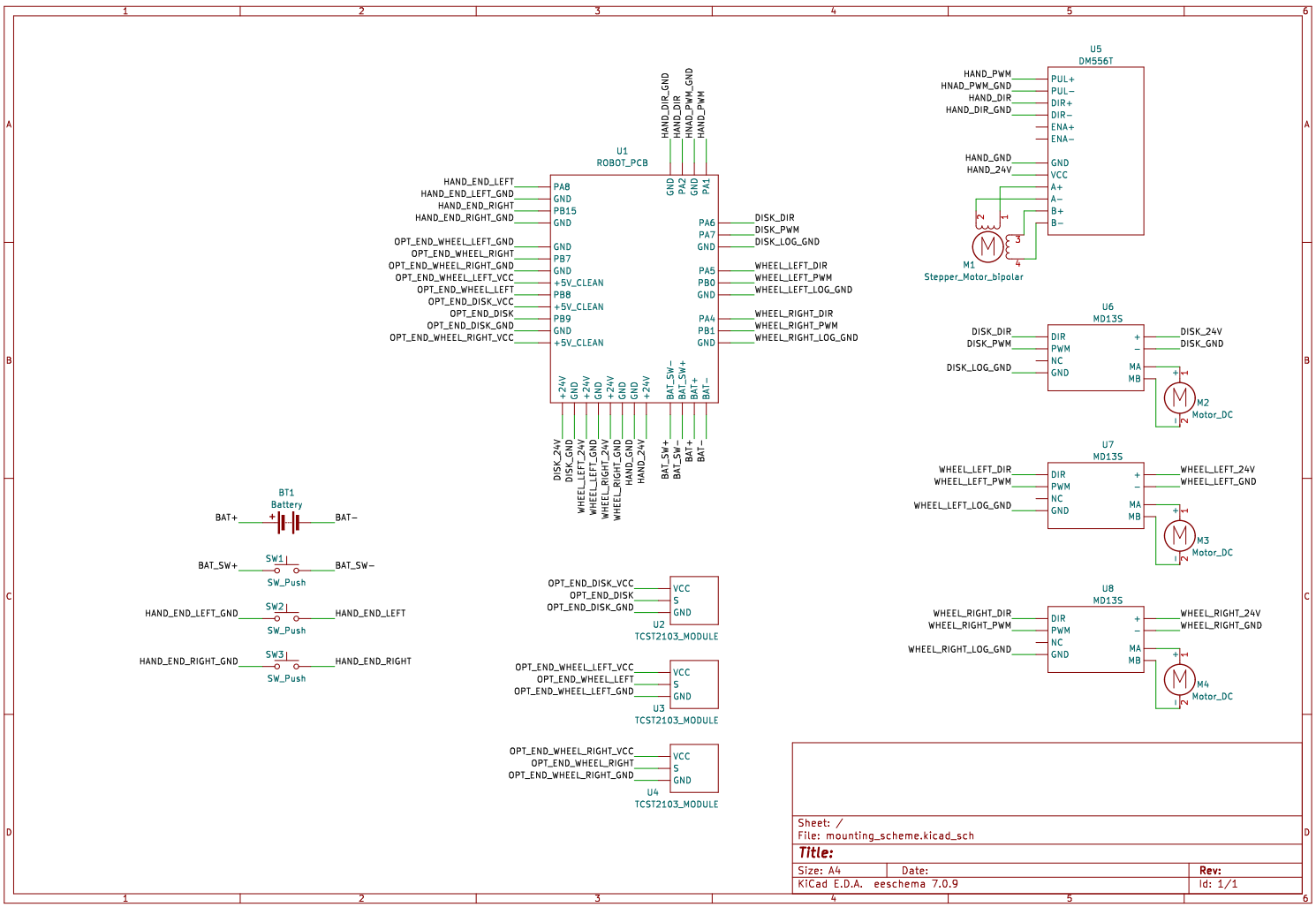




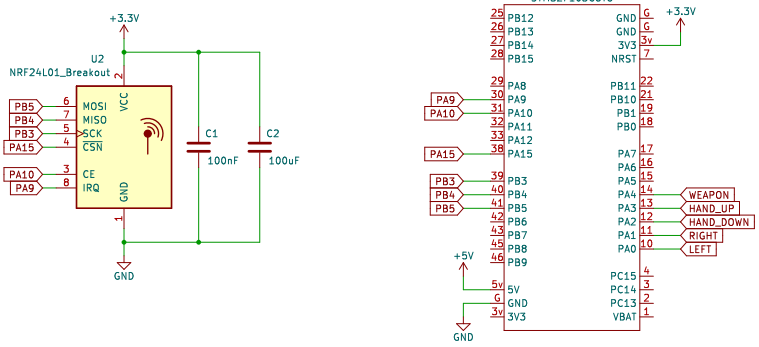


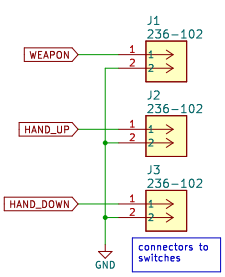


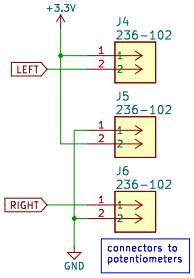
Фигура Б.3.: На следващата страница е монтажната схема на робота


U1
ROBOT_PCB
HAND_END_LEFT
HAND_END_LEFT_GND
HAND_END_RIGHT
HAND_END_RIGHT_GND
OPT_END_WHEEL_LEFT_GND
OPT_END_WHEEL_RIGHT
OPT_END_WHEEL_RIGHT_GND
OPT_END_WHEEL_LEFT_VCC
OPT_END_WHEEL_LEFT
OPT_END_DISK_VCC
OPT_END_DISK
OPT_END_DISK_GND
OPT_END_WHEEL_RIGHT_VCC
PA8
GND
PB15
GND
GND
PB7
GND
+5V_CLEAN
PB8
+5V_CLEAN
PB9
GND
+5V_CLEAN
HAND_DIR_GND
HAND_DIR
HNAD_PWM_GND
HAND_PWM
GND
PA2
GND
PA1
PA6
PA7
GND
PA5
PB0
GND
PA4
PB1
GND
DISK_DIR
DISK_PWM
DISK_LOG_GND
WHEEL_LEFT_DIR
WHEEL_LEFT_PWM
WHEEL_LEFT_LOG_GND
WHEEL_RIGHT_DIR
WHEEL_RIGHT_PWM
WHEEL_RIGHT_LOG_GND
+24V
GND
+24V
GND
+24V
GND
GND
+24V
BAT_SW−
BAT_SW+
BAT+
BAT−
DISK_24V
DISK_GND
WHEEL_LEFT_24V
WHEEL_LEFT_GND
WHEEL_RIGHT_24V
WHEEL_RIGHT_GND
HAND_GND
HAND_24V
BAT_SW+
BAT_SW−
BAT+
BAT−
U5
DM556T
HAND_PWM
HNAD_PWM_GND
HAND_DIR
HAND_DIR_GND
HAND_GND
HAND_24V
PUL+
PUL−
DIR+
DIR−
ENA+
ENA−
GND
VCC
A+
A−
B+
B−
M1
Stepper_Motor_bipolar
U6
MD13S
DISK_DIR
DISK_PWM
DISK_LOG_GND
DIR
PWM
NC
GND
+
−
MA
MB
DISK_24V
DISK_GND
M2
Motor_DC
U7
MD13S
WHEEL_LEFT_DIR
WHEEL_LEFT_PWM
WHEEL_LEFT_LOG_GND
WHEEL_LEFT_24V
WHEEL_LEFT_GND
M3
Motor_DC
U8
MD13S
WHEEL_RIGHT_DIR
WHEEL_RIGHT_PWM
WHEEL_RIGHT_LOG_GND
WHEEL_RIGHT_24V
WHEEL_RIGHT_GND
M4
Motor_DC
BT1
Battery
BAT+
BAT−
SW1
SW_Push
BAT_SW+
BAT_SW−
SW2
SW_Push
HAND_END_LEFT_GND
HAND_END_LEFT
SW3
SW_Push
HAND_END_RIGHT_GND
HAND_END_RIGHT
U2
TCST2103_MODULE
OPT_END_DISK_VCC
OPT_END_DISK
OPT_END_DISK_GND
VCC
S
GND
U3
TCST2103_MODULE
OPT_END_WHEEL_LEFT_VCC
OPT_END_WHEEL_LEFT
OPT_END_WHEEL_LEFT_GND
U4
TCST2103_MODULE
OPT_END_WHEEL_RIGHT_VCC
OPT_END_WHEEL_RIGHT
OPT_END_WHEEL_RIGHT_GND
Sheet: /
File: mounting_scheme.kicad_sch
Title:
Size: A4
Date:
Rev:
KiCad E.D.A. eeschema 7.0.9
Id: 1/1

Фигура Б.4.: На следващата страница е електрическата схема на пулта за управление







Sheet: / File: PCB.kicad_sch		
Title:		
Size: A4	Date:	**Rev:**
KiCad E.D.A. eeschema 7.0.9		Id: 1/1

Фигура Б.5.: Печатна платка на пълта за управление

Следващите 7 изображения са отделните слоеве на печатната платка в робота. Те са в мащаб 1:1 и са наредени в следния ред: Мед, страна компоненти

Мед, страна спойки

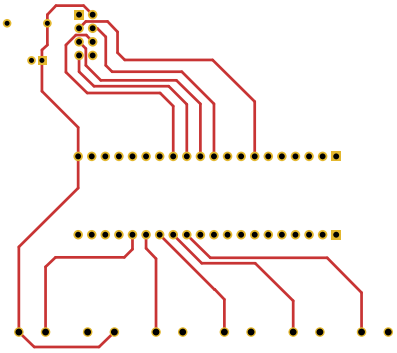
Ситопечат, страна компоненти

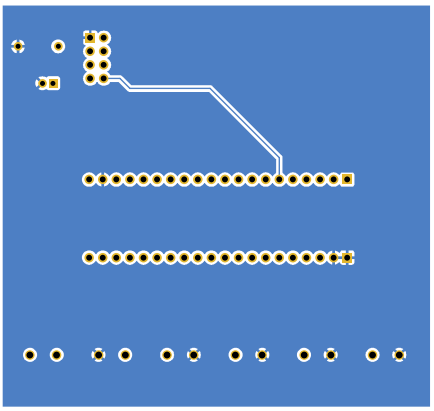
Ситопечат, страна спойки

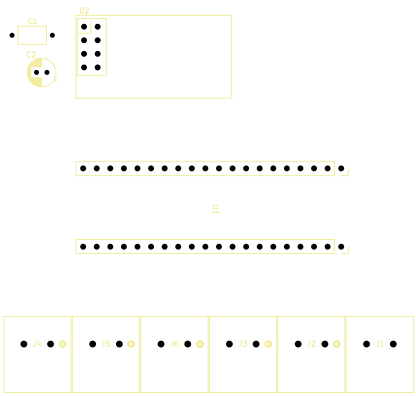
солдер маска, страна компоненти

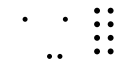
солдер маска, страна спойки

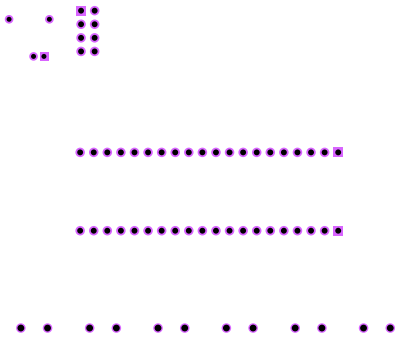
Ръбове и отвори

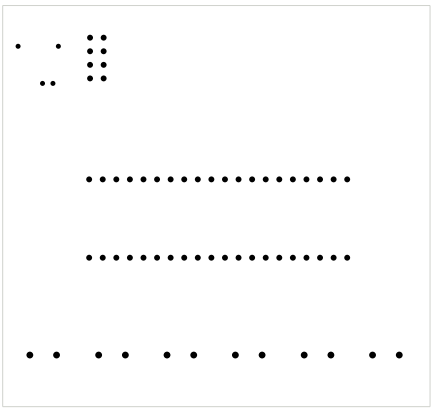





C1
C2
U2
J3
J4
J5
J6
J7
J8
J9







Библиография

[1] C. 101. “Design Guide - PMOS MOSFET for Reverse Voltage Polarity Protection.” (28 May 2020), url: https://components101.com/articles/design-guide-pmos-mosfet-for-reverse-voltage-polarity-protection (дата на посещ. 29 февр. 2024).

[2] R. Marston. “OPTOCOUPLER CIRCUITS.” (FEBRUARY 2000)), url: https://www.nutsvolts.com/magazine/article/optocoupler-circuits (дата на посещ. 29 февр. 2024).

[3] M. A. Meggiolaro, *RioBotz Combat Tutorial version 2.0*. Pearson Longman, 2009.

[4] Nordic Semiconductor, *nRF24L01 Single Chip 2.4GHz Transceiver Product Specification*, Nordic Semiconductor.

[5] STMicroelectronics, *DS5319 Rev 19, STM32F103x8, STM32F103xB datasheet*, STMicroelectronics.

[6] STMicroelectronics, *RM0008 Rev 21, STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx, STM32F105xx and STM32F107xx advanced Arm®-based 32-bit MCUs*, STMicroelectronics.

[7] ТУЕС, *Правила за Tues BattleBots 2024 Rev 2.0*, https://drive.google.com/file/d/1vpiREwIxkqkltpVhlnRMijJWFShw3rAO/view?usp=share_link, 2024.