



ТЕХНОЛОГИЧНО УЧИЛИЩЕ ЕЛЕКТРОННИ СИСТЕМИ
към ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

ДИПЛОМНА РАБОТА

на тема

Боеен робот с пулт за дистанционно управление
по радио връзка

Дипломант:

Александър Иванов
специалност Системно
програмиране

Дипломен ръководител:

инж. Владимир Гаристов

Рецензент:

проф. д.т.н. Юлиан Вучков

18 февруари 2024 г.
София



**ТЕХНОЛОГИЧНО УЧИЛИЩЕ ЕЛЕКТРОННИ СИСТЕМИ
към ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ**

Дата на заданието: 15.11.2023 г.

Дата на предаване: 15.02.2024 г.

Утвърждавам:.....

/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 безопасност - 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 /

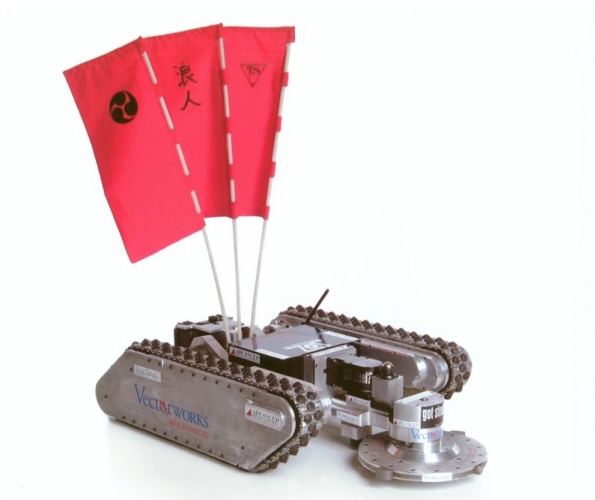
Увод

Още от зората си, човечеството търси разнообразни и вълнуващи начини да успее да избяга от еднообразното си ежедневиe. 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. Годишите 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 с дистанционно управление, целят увреждането на опонента до такава степен, че вече да не може да извършва движения.

???? Методи, средства и методологии за изработване на бойни роботи ????

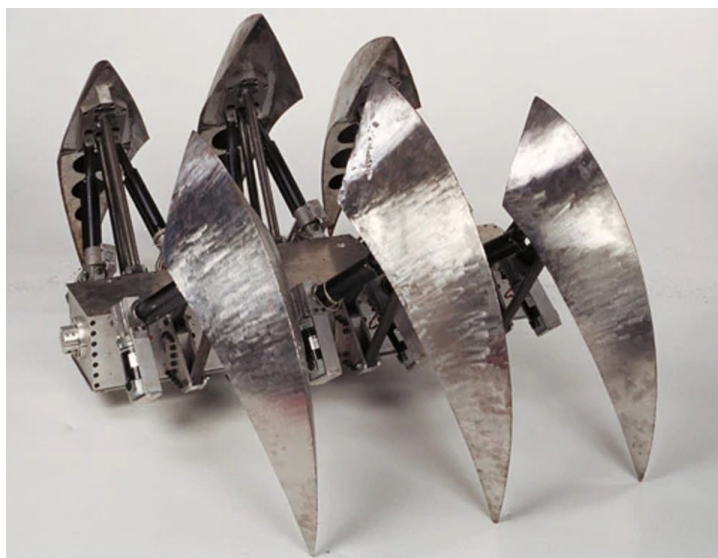
2.1 Основни методи и технологии за задвижване на бойни роботи

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 глава 1.4. 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 фигура 1.2.



Фигура 2.2: Боеен 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

	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

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

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

броя и всяка има свой предимства и недостатъци. Пример за такъв вид защита е пласт гума между два пласта метал. Предимството ѝ 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“, „clamber“, „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 жirosкопичен ефект, който намалява осезателно скоростта им на движение, което ги прави уязвими към удари отзад. С времето в роботските боеве категориите „flipper“, „horizontal spinner“, „vertical spinner“, „drumbot“, „hammerbot“ и „clamber“ са се открили като по-ефективни в сравнение с останалите.

Дизайн и блоковата схема на работа

3.1 Функционални изисквания към работа

3.2 Блокова схема на работа

Механика

4.1 Цялостен модел на работа

4.2 Задвижване на работа

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 ?? точка 1.1. ?? бе установено, че най-ефективният метод е диференциалното задвижване с колела. По дизайн роботът има две задвижващи колела от двете 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.

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 най-голямата сила на съпротивление, която всяко колело може да генерира без самото колело да се върти е $88,29\text{N} \times 0,75 = 66,2175\text{N}$. 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 $66,2175\text{N} \times 0,04\text{m} = 2,6487\text{Nm}$. 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.

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

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 $2,6487\text{Nm} / 0,735\text{Nm} = 3,6$.

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 $39,24\text{N} \times 0,24\text{m} = 9,4176\text{Nm}$. 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.

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 придвижвана 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. Постиганата 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 **????** 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 **????**. 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 заstopорени за стените на ръката.

Проектиране на печатните платки

..

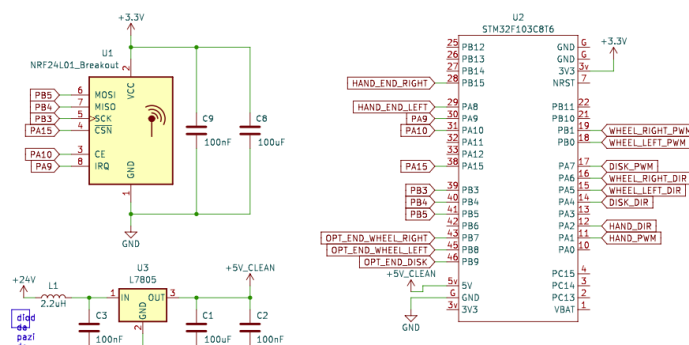
За проектирането на печатните платки и монтажните схеми в проекта е използван софтуерния пакет KiCad. Той е избран за целта, защото е безплатен и има богата библиотека с компоненти, съдържащи символи и ?? footprints ??.

5.1 Принципна електрическа схема на работа

Принципната електрическа схема на печатната платка в работа може да бъде видяна на ?? приложение ?. 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 ???? приложение ????.

5.1.1 Радиочестотен модул

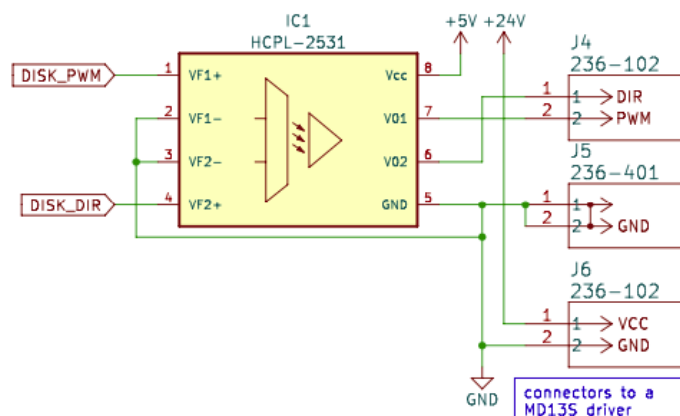
Връзката между дистанционното и работа се осъществява посредством nRF24L01+ PA/LNA радиочестотен модул. Комуникацията между него и използвания микроконтролер е посредством SPI интерфейс. Радиочестотният модул бива захранван с 3,3V от вградения регулатор на напрежението на blue pill. С цел повишаване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



Фигура 5.1: Радиочестотен модул

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 сигнал, който упоменава скоростта, с която мотора трябва да се върти, и високо или ниско ниво, което да показва посоката на движение **????**¹.



Фигура 5.2: Оптрон

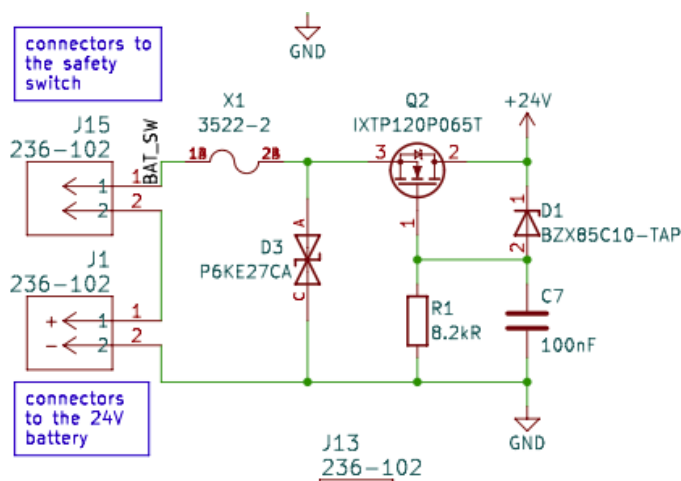
5.1.3 Сензори

5.1.4 Захранване на печатната платка

Печатната платка се захранва директно от 24V постояннотокова батерия. Съгласно изискванията за безопасност изводите на конектор J15

¹Ужасно изказано

са предвидени за ключ, който да спира цялото захранване на работата. Освен това има имплементирани хардуерни защиты 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, който има номинално напрежение **????**. С цел застраховка 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. **????**²



Фигура 5.3: 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 **????**³.

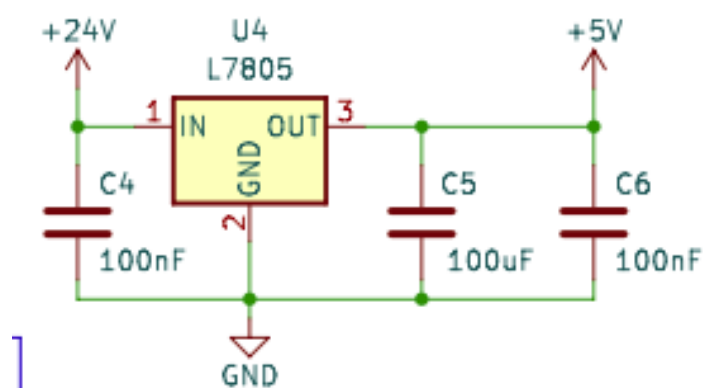
Първият канал използва стабилизатора U4 за да успее да свали напрежението до 5V, които да бъдат подадени после на оптроните на логическата част на четковите мотори и на логическия преобразовател на стъпковия мотор. Той е показан на фиг. 5.4а. За намаляване на

²Стабилизиране на напрежението чрез кондензатора C7

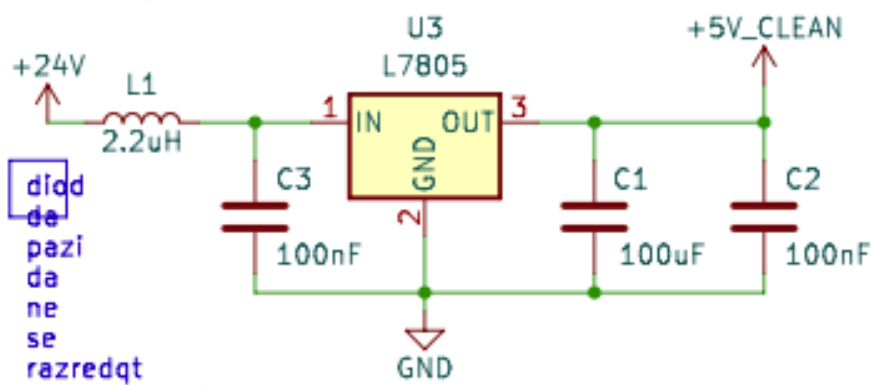
³Да кажа от къде идват шумовете

шумовете в системата са поставени нискочестотния филтър C5 и височестотния филтър C6. ????⁴.

Вторият канал на захранването е почти идентичен с първия. Той се използва за захранването на микроконтролера, радиочестотния модул и сензорите в робота и може да бъде видян на фиг. 5.46. ????⁵.



(a) Захранване на логиката на силовата електроника



(б) Захранване на микроконтролера, радиочестотния модул и сензорите

Фигура 5.4: Захранване на логическата част в робота.

⁴За допълнително стабилизиране на захранването е добавен кондензатора C4 - функция

⁵бобината L1

5.2 Опроводяване на печатната платка на работа

5.3 Монтажна схема на работа

Монтажната схема на работа може да бъде намерена в ?? приложение ???. На нея може да се види основната част в работа, представляваща разработената печатна платка, която съдържа радиочестотния модул за комуникация, микроконтролера, управляващ работа, и хардуерните защиты на захранването. Нейното захранване идва 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 пета 24 стъпков мотор се управлява посредством DM556T драйвер. 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 дистанционното

Принципната електрическа схема на печатната платка на дистанционното може да бъде видяна на ?? приложение ???. Основният елемент на схемата е микроконтролерът STM32F103C8T6 (blue pill), който чете данните от сензорите, обработва ги и после ги праща към работа посредством радиочестотния модул. Използваните компоненти в проектирането на тази печатната платка могат да бъдат видяни в таблица ????? приложение ?????

5.4.1 Радиочестотен модул

5.4.2 Сензори

5.5 Опроводяване на печатната платка на дистанционното

5.6 Монтажна схема на дистанционното

????⁶

⁶Трябва ли да има такова нещо изобщо

Софтуерна реализация

- 6.1 Логическа схема на бойния робот
- 6.2 Софтуерна реализация на управлението на работа
- 6.3 Софтуерна реализация на дистанционното

Заключение

Съдържание

1	Увод	1
2	???? Методи, средства и методологии за изработване на бойни роботи ????	2
2.1	Основни методи и технологии за задвижване на бойни роботи	2
2.2	Основни методи и технологии за дистанционно управление на бойни роботи	4
2.3	Основни методи за защита на бойни роботи	5
2.4	?видове съществуващи бойни роботи?	6
3	Дизайн и блоковата схема на работа	7
3.1	Функционални изисквания към работа	7
3.2	Блокова схема на работа	7
4	Механика	8
4.1	Цялостен модел на работа	8
4.2	Задвижване на работа	8
4.3	Задвижване на ръката	9
4.4	Задвижване на оръжието	10
5	Проектиране на печатните платки	12
5.1	Принципна електрическа схема на работа	12
5.1.1	Радиочестотен модул	12
5.1.2	Управление на моторите	13
5.1.3	Сензори	13
5.1.4	Захранване на печатната платка	13
5.2	Опроводяване на печатната платка на работа	16
5.3	Монтажна схема на работа	16
5.4	Принципна електрическа схема на дистанционното	16
5.4.1	Радиочестотен модул	17
5.4.2	Сензори	17
5.5	Опроводяване на печатната платка на дистанционното	17
5.6	Монтажна схема на дистанционното	17

6 Софтуерна реализация	18
6.1 Логическа схема на бойния робот	18
6.2 Софтуерна реализация на управлението на работа	18
6.3 Софтуерна реализация на дистанционното	18
7 Заключение	19
Списък на фигурите	22
Списък на таблиците	23

Списък на фигурите

2.1 Боен робот, задвижван от вериги	2
2.2 Боен робот, задвижван от механични крака	3
5.1 Радиочестотен модул	13
5.2 Оптрон	13
5.3 Защити на захранването	14
5.4 Захранване на логическата част в работа.	15

Списък на таблиците

2.1 Сравнителна таблица за безжични технологии	5
--	---