



НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ  
КАФЕДРА ПРОМИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

До захисту допущено  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Ю.С. Ямненко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2019р.

**Дипломний проект**  
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки \_\_\_\_\_ 6.050802 Електронні пристрої та системи  
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему \_\_\_\_\_ Роботизована платформа для переміщення об'єктів

Виконав: студент \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_ ДС-52

\_\_\_\_\_ Волошин Іван Олександрович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ доцент Вербицький Є.В. \_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року



## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
1-5			

7. Дата видачі завдання «11» жовтня 2018 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строки виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд літератури	13.02.2019-08.03.2019	виконав
2	Огляд роботизованих платформ	9.03.2019-20.03.2019	виконав
3	Вибір роботизованої шасі	20.03.2019-05.04.2019	виконав
4	Варіанти дистанційного керування платформою	06.04.2019-19.04.2019	виконав
5	Розробка робота-гуманоїда для переміщення об'єктів	16.04.2019-01.05.2019	виконав
6	Розробка програмного забезпечення для руху платформи	05.05.2019-09.06.2019	виконав

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Волошин І.О.

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_ (підпис)

Вербицький Є.В.

(ініціали, прізвище)

## АНОТАЦІЯ

У ході переддипломної практики було проведено аналіз існуючих рішень щодо керування та створення роботизованої платформи для переміщення об'єктів. Розроблені алгоритми ходи робота та було створено власну програму для керування. Було досліджено та розроблено електричну принципову схему платформи. Для розробки друкованої плати пристрою було виконано конструктивно-технологічний розрахунок та обчислення експлуатаційних показників. Досліджено можливості сучасних платформ та роботів для переміщення вантажу.

## ABSTRACT

In the course of pre-diploma practice, an analysis of existing decisions was made to manage and create a robotic platform for moving objects. The algorithms developed by the robot move and created their own management program. The electrical principle diagram of the platform was explored and developed. To develop the printed circuit board of the device, a structural and technological calculation and calculation of performance indicators were performed. The possibilities of modern platforms and robots for moving cargo are explored.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ОСНОВНИХ ФУНКЦІЙ РОБОТІВ ТА ЇХ СИСТЕМА КЕРУВАННЯ</b> .....	5
1.1. Застосування роботизованих систем на виробництві.....	5
1.2. Класифікація роботів для пересування вантажів.....	11
1.3. Система керування роботами.....	14
<b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПЛАТФОРМИ</b> .....	17
2.1. Аналіз існуючих методів обміну даних.....	17
2.2. Вибір компонентів системи на основі патентного пошуку.....	19
2.2.1. Ультразвуковий безпроводний дефектоскоп.....	20
2.2.2. Пристрій здійснення керування шляхом широтно-імпульсної модуляції.....	20
2.2.3. Інтерактивна система дистанційного керування об'єктами..	21
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СХЕМИ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ</b>	22
3.1. Розробка схеми електричної структурної .....	22
3.2. Розробка схеми електричної принципової.....	23
3.3. Вибір мікроконтролера.....	25
3.4. Вибір мікросхем для конвертації USB інтерфейсу в UART інтерфейс.....	27
3.5. Вибір компонентів.....	30
3.6. Живлення платформи.....	34

ДС52.522.216.001 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Волошин І.О.		
Перевір.		Вердицький Є.В.		
Реценз.		.		
Н. Контр.		Батрак Л.М.		
Затверд.		Вердицький Є.В.		
Пояснювальна записка				
		Лім.	Арк.	Аркушів
		3	81	
КПІ ім. Ізгоря Сікорського ФЕЛ, КПЕ, зр. ДС-52				

<b>РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ДРУКОВАННОЇ ПЛАТИ.....</b>	<b>36</b>
4.1. Вибір друкованої плата.....	36
4.2. Вибір класу точності друкованої плати.....	38
4.3. Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати.....	40
4.4. Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів друкованої плати.....	40
4.5. Електричний розрахунок друкованої плати.....	45
4.6 Розрахунок теплового режиму.....	47
4.7 Розрахунок надійності друкованого вузлу.....	48
4.8 Проектування друкованих плат в середовищі altium designer...	56
<b>РОЗДІЛ 5. МАТЕМАТИЧНІ ЗАСАДИ ТА АЛГОРИТМИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РОБОТОМ.....</b>	<b>60</b>
5.1. Розрахунок руху робота по плоскій та похилій поверхні.....	60
5.2. Управління по вектору швидкості захвату об'єкта.....	64
5.3. Управління по вектору положення для захвату об'єкта.....	65
5.4. Принцип роботи платформи.....	66
5.5. Програмування контролеру Atmega328.....	69
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>73</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>75</b>
<b>АВСТРАСТ</b>	

## ВСТУП

В даний час, робототехніка – одна з провідних галузей електроніки. Людство живе у час, коли роботизовані системи та платформи входять у наше життя, як ніколи раніше. Завдяки ним стала можливою робота, яку до цього не могла виконати людина.

Все більшого значення набувають системи безпроводного керування. На їх основі будують не тільки роботизовані платформи, а й багато інших систем, таких як: «розумний» будинок, інтернет речей, системи контролю за підприємствами та багато іншого.

Донедавна світ створював роботизовані платформи які були націлені на виконання суворо однієї або декількох функцій. Здебільшого це були маніпулятори, екзоскелети або роботи які закріплені на шасі та не мають змоги працювати автономно. Та останнім часом людство почало створювати роботів-гуманоїдів, загалом це шасі робота яке виконано по прикладу людиноподібного тіла. Пов'язано це насамперед з тим, що людське тіло дуже функціональне і робот з такою ходовою частиною може виконувати різноманітні задачі.

На теперішній час існує проблема керування такими пристроями, що потребують струм, який не може надати контролер (двигуни постійного струму, серводвигуни, дімери для контролю освітленості та інше), та керуванням ними за допомогою бездротового каналу. Як правило, для взаємодії з такими системами використовується ШІМ сигнал. Досить гостро стоїть проблема зчитування та відтворення роботом рухів людини, постійно потрібно розробляти все нові алгоритми роботи, адже його функціонал майже не обмежений.

У даній роботі розглянуто розробку роботизованої платформи з керуванням по бездротовому каналу, з подальшою модернізацією у напрямку зчитування та відтворення рухів людини. Такі роботи широко

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуються на заводах та підприємствах, медицині, у процесах купівлі – продажу, у військових цілях та інших сферах людської діяльності.

Модуль керування, що розробляється є універсальним, тому його можна використовувати, як основу для створення прототипу «розумного» будинку з дистанційним керуванням (контроль електричних приладів, отримання статистики з споживання електричної енергії і т.д.) .

Мета проекту: створити платформу, якою можна керувати роботизованою платформою, що включає в себе 15 потужних серводвигунів, на відстані зі смартфона, комп'ютеру, планшета, або іншого «розумного» приладу, що має бездротові канали зв'язку. Сама роботизована платформа являє собою металеву конструкцію, що приводиться в дію 15 серводвигунами.

Для оптимального вирішення даної задачі розглянуто існуючі базові методи, покладені в основу такої системи.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



та техніки, а також при розвитку такого напрямку науки та техніки як штучний інтелект, тим саме прискорюючи розвиток різних економічних галузей країни.

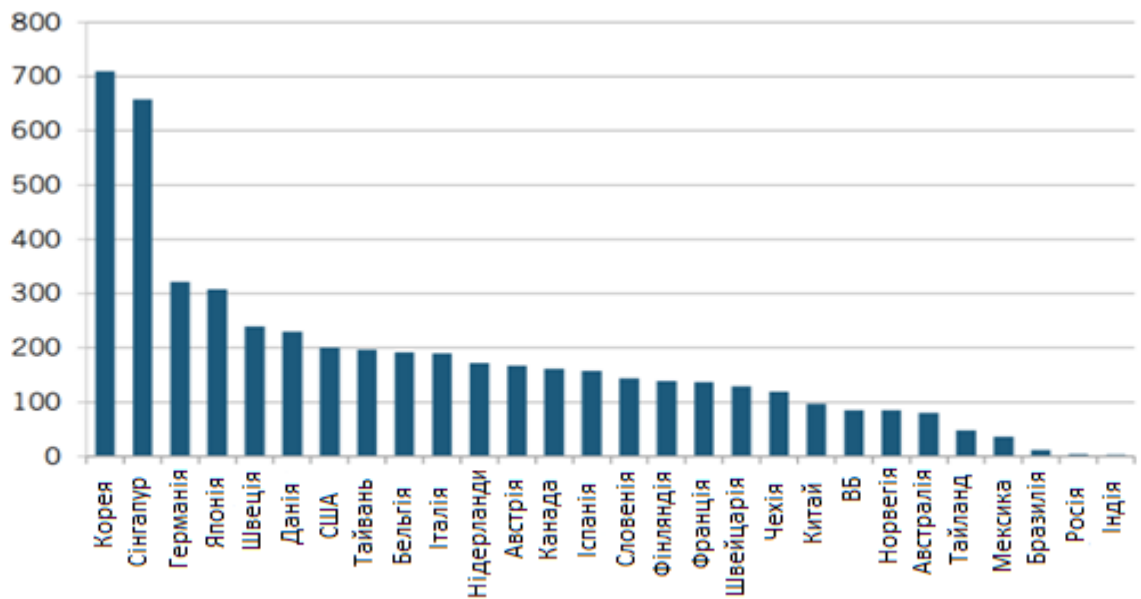


Рис 1.1 - Кількість роботів на 10 000 працівників в 2017 році

Технологічні області застосування промислових роботів достатньо різноманітні, і, враховуючи це, Міжнародна федерація робототехніки (IFR) прийняла досить чітку систему класифікації промислових роботів по областях їх технологічного застосування або видами операцій:

- процеси лиття (110), у тому числі: фасонне лиття (111), інше (119);
- процеси лиття пластмас (130);
- процеси термічної обробки (140);
- процеси штампування і кування (150);
- процеси зварювання (160), у тому числі: дугове зварювання (161), точкове зварювання (162), газове / плазмове зварювання (163), лазерне зварювання (164), інші (169);
- процеси розпилення (170), у тому числі: фарбування та нанесення покриттів (171), герметизація і склеювання (172), інші (179);



Зазвичай, коли розвиток будь-якого процесу підходить до насичення, з'являються нові ідеї, які дають новий імпульс для подальшого розвитку автоматизації. Такі можливості в автоматизації виробництва для подолання існуючих обмежень дає гнучке автоматизоване виробництво. Ідеальне виробництво, яке може бути отримане в результаті гнучкої автоматизації, можна коротко охарактеризувати так:

- автоматичне виробництво виробів як завгодно малими партіями;
- собівартість і продуктивність близькі до значень, досягнутим в сучасному масовому 16 виробництві;
- практично безлюдне виробництво - число працюючих в порівнянні із звичайним виробництвом менше на два порядки;
- комплексна автоматизація всіх частин виробництва, включаючи технологічні процеси, підготовку виробництва, розроблення конструкторської документації на вироби, що випускаються, планування і управління виробництвом в цілому.

Таким чином, можна сказати, що при повній реалізації гнучкого автоматичного виробництва мають розроблятися нові рішення для вдосконалених виробів. При цьому весь процес-повинен відбуватися цілодобово і здійснюватися на основі машинних носіїв інформації.

Сучасні промислові роботи в більшості випадків використовуються для заміни ручної праці. Так, робот може використовувати інструментальний захват для фіксації інструменту і здійснення обробки деталі або тримати саму заготовку для того, щоб подавати її в робочу зону на подальшу обробку. Робот має ряд обмежень, таких як зона досяжності, вантажопідйомність, необхідність уникнути зіткнення з перешкодою, необхідність попереднього програмування кожного руху. Але при його правильному застосуванні і попередньому аналізі роботи системи, робот здатний забезпечити виробництво низку переваг, високу якість і ефективність робочого процесу. Для оцінки актуальності впровадження робота в різноманітні процеси на

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробництві наведемо ряд переваг і недоліків застосування робототехніки на підприємстві.

**Продуктивність.** При застосуванні робота продуктивність зазвичай підвищується. Перш за все, це пов'язано з більш швидким переміщенням і позиціонуванням в процесі обробки, також грає роль і такий фактор, як можливість автоматичної роботи 24 години на добу без перерв і простоїв. У разі правильно обраного застосування роботизованої системи продуктивність в порівнянні з ручним виробництвом зростає в рази або навіть на порядок. Слід зазначити, що при широкій номенклатурі виробів, постійних змінах в алгоритмах кодування, необхідності великої кількості периферійного обладнання для різних деталей, продуктивність може і знижуватися роблячи процес неефективним і складним.

**Поліпшення економічних показників.** Замінюючи людину, робот ефективно знижує витрати на оплату фахівців. Особливо даний фактор важливий в економічно розвинених країнах з високими заробітними платами робітників і необхідністю надбавок за переробку, нічний час і т.д. У разі застосування робота або автоматизованої системи, в цеху необхідно лише наявність оператора контролюючого процес, при цьому оператор може контролювати відразу декілька систем.

При початковій закупівлі роботизована система - досить серйозне фінансове вкладення, і підприємство зацікавлене в його швидкій окупності. Неправильне застосування обладнання та помилки в його комплектації і розстановці можуть привести до збільшення часу обробки або трудомісткості роботи, тим самим знижується економічність виробництва.

**Якість обробки.** Часто причиною впровадження технологічної системи на базі промислового робота стає необхідність забезпечення заданого в

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

документації на виріб якості обробки. Висока точність позиціонування промислових роботів (0.1 0.05 мм) і повторюваність забезпечують належну якість виробу і усувають вірогідність виробничого браку деталей. Виключення людського фактора призводить до мінімізації робочих помилок і збереженню постійної повторюваності на всій виробничій програмі.

**Безпека.** Застосування робота досить ефективно на шкідливому виробництві, яке негативно впливає на організм людини. Насамперед в ливарній промисловості, при зачистці зварювальних швів, фарбувальних роботах, зварювальних процесах, при переміщенні тяжких, вибухових та шкідливих вантажів і т. д. У випадках, коли застосування ручної праці обмежується законодавством впровадження робота може бути єдиним рішенням. При роботі в цеху периметр робочої зони захищається різними пристроями для запобігання проникнення людини в зону дії робота. Наявність захисних систем є головною і невід'ємною умовою для безпечної роботи роботизованих систем по всьому світу.

**Мінімізація робочого простору.** Правильно укомплектована платформа на базі промислового робота більш компактна, ніж робоча зона для виконання ручних робіт. Це досягається більш ергономічною конструкцією складальних машин, невеликим розміром місця, яке займає робот, можливістю його розміщення в підвішеному стані і т. д.

**Мінімальне обслуговування.** Сучасні промислові роботи, завдяки застосуванню асинхронних двигунів і якісних редукторів, практично не потребують обслуговування. Виготовляються спеціальні моделі роботів з нержавіючої сталі, наприклад, для роботи в медичній і харчовій промисловості, при високих і низьких температурах, в агресивних

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середовищах. Це робить їх менш сприйнятливими до навколишнього середовища і підвищує зносостійкість обладнання.

Переваги промислових роботів - гнучкість застосування і можливість використання в практично необмеженій кількості процесів. Так наприклад, в авіаційній галузі з метою підвищення якості продукції починають застосовувати машини в процесах клепки, обшивки фюзеляжу, викладки композитних матеріалів, при різних роботах в умовах обмеженого простору. Активно поширюється застосування роботів для перевезення та переміщення об'єктів. У США і Європі роботи використовуються в камерах очищення виробі під високим тиском.

## **1.2. Класифікація роботів для пересування вантажів**

На даний час у світі прийнято розділяти промислових роботів на три основні етапи, по принципу їх взаємодії з навколишнім середовищем, здатності пристосовуватися до зміни задач або навіть до розуміння навколишнього середовища та взаємодії с ним, не виключаючи з цього навколишнього середовища і людину. Ці етапи розподілу можливостей промислових роботів мають назву: першого, другого та третього покоління.

Роботи першого покоління не відрізняються кмітливостю і лише виконують наперед задані команди, не здатні адаптуватися до умов виробництва і зовнішнього середовища та взагалі є дуже складними у зміні направленості виробництва. Деталі які вони завантажують або розвантажують мають бути розмішені тільки упорядковано і по заданій схемі. У той же час завдяки простоті конструкції, їх невеликій ціні та збільшеним можливостям (відносно людини, у довгостроковій перспективі) роботи першого покоління широко застосовуються в промисловості (завантаження - розвантаження, складування деталей, транспортування та інші). Пристрої першого покоління які в основному виконують роботу «взяти-покласти», які мають механічні

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

жорсткі упори завдяки яким і регулюється початкова і кінцева точки руху пристрою, але не проміжні. Такі пристрої не можуть виконувати одразу нові програми, а потребують попереднього перепрограмування. Якщо принцип роботи змінюється не тільки по принципу зміни положення початкової та кінцевої точки то робот потребує не тільки перепрограмування але і зміни механічних частин, таких як захватний пристрій та інші. На сьогоднішній день вже існують роботи із змінною послідовністю які можуть одразу змінювати послідовність операцій і виконувати нову програму. Все це можливо завдяки тому що в них включено декілька жорстких опор, які відповідають кожен за свою операцію. Більшість роботів на даний час виготовляється по даній схемі.

Будь який робот який змінює положення свого робочого органу має бути обладнаний можливістю зупинити окремий вузол у будь-якій точці своєї траєкторії. Для того щоб це зробити треба або вимкнути окремий вузол, або подати йому команду на зупинку. Крокові двигуни мають змогу зупинитися при завершенні свого кроку, але не всі промислові роботи оснащені ними. Ще одним із недоліків цього способу є те що ми не можемо з впевненістю сказати де саме закінчиться крок і чи зможе ця аварійна зупинка запобігти аварійній ситуації. Тому на всіх промислових роботах вирішено було встановлювати на кожний вузол серво-механізму, який буде ефективно керувати кожний вузол, для того щоб програма була виконана із заданою точністю і не створювала аварійних ситуацій. Зазвичай таких роботів також називають серво-роботами, або роботами із слідкуючою системою. Механізми поділяють на контурні та позиційні системи руху. Контурними є системи в яких робочий орган рухається від початкової точки до кінцевої точки за не постійною траєкторією. Траєкторією руху на той час було важко передбачити. Також не останньою причиною в цьому було і те, що запам'ятовувальні пристрої мали малі об'єми та велику ціну. Коли запам'ятовувальні пристрої почали отримувати збільшені об'єми пам'яті з часом з'явилася можливість збільшити число точок. Завдяки цій події виробники ввели новий термін, як багато-точкове управління, яким

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

описується зберігати у пам'яті промислового робота дуже великого числа дискретних точок, які у деталях описують як саме повинен рухатися робочий орган. Для роботів, які виконують прості дії, як наприклад перекладання продукції з одного конвеєра на інший або які складають їх для майбутнього пересування, точний контроль по пересуванню робочого органа та всіх його вузлів є не доцільним. Тому, такі системи використовуються лише в зварювальних або фарбувальних роботах. Безпосередньо для дугового зварювання або фарбування розпиленням. До роботів першого покоління відносяться роботи у яких повністю відсутні слідкуюча система або якісь датчики. Мають мінімальну кількість пам'яті та жорстку систему переміщень. Із-за мінімальної комплектації мають невелику ціну і тому широко використовуються на підприємствах.

Насамперед роботи другого покоління оснащені досить розвиненим апаратом сенсорів та працюють за гнучкою програмою, що виконує роботу за принципом «ситуація - дія». Ця програма може самостійно вибирати оптимальний алгоритм для виконання промислових робіт в залежності від реального стану виробничого процесу. Такі роботи використовуються у тих галузях де необхідний повний контроль над процесом виробництва для того щоб мінімізувати можливі помилки у виробі який виготовляють. Роботи другого покоління здатні отримувати інформацію із навколишнього середовища на початку роботи, такі як: який прийшов об'єкт, якою стороною, що і де необхідно зробити але і можуть корегувати свої дії під час самого виконання. Можуть мати не тільки технічні пристрої які імітують зір, вимірюють відстань, перевіряють температуру, внутрішній склад отриманої деталі і навіть наслідувати такі складні до імітації людські якості як відчуття дотику.

Роботи третього покоління намагаються повністю копіювати людину, не тільки у способі виконанні праці, а також її спосіб мислення. Завдяки оснащенню новими способами адаптації, які включають у себе заохочення до

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконання будь якої дії, яку задала людина роботи третього покоління набули здатності до самонавчання та розпізнавання образів, що є найдивовижнішим із елементів штучного інтелекту. З розвитком штучного інтелекту роботи та автоматичні роботизовані системи отримали можливість моделювання зовнішнього середовища, планування власних дій, прийняття рішень та аналізу виробничої обстановки з метою покращення виробничого процесу. В деяких розвинених країнах світу навіть створюються роботи по переходу систем управління роботизованими комплексами на інтелектуальний інтерфейс, що дозволяє управляти роботами засобами природної мови.

Під час створення роботів третього покоління людина намагається повністю імітувати себе, тобто створювати роботів гуманоїдного типу які не тільки мають схожу з нами будову а і є «інтелектуальними», тобто можуть самі вивчати навколишнє середовище та навчатися на своїх помилках. На даний час роботів вже навчили пересуватися та долати перешкоди без сторонньої допомоги завдяки самонавчанню, використовуючи технологію нейронних мереж яку на даний час підтримує та розвиває така відома компанія як «Nvidia». Незважаючи на всю різноманітність класифікаційних ознак, існують так звані «сірі зони». Наприклад, додавання одного простого датчика, це робить пристрій роботом другого покоління. Необхідно, щоб датчик повністю змінював та покращував дії робота. Роботи третього покоління дуже складні та дорогі у виробництві та потребують велику кількість розумових ресурсів та передових рішень в галузі робототехніки. Але досить широка можливість їх застосування змушує людство працювати над розробкою таких складних систем.

### 1.3. Система керування роботами

Сучасні роботи функціонують на основі принципів зворотного зв'язку, підпорядкованого управління та ієрархічності системи управління роботом.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ієрархія системи управління роботом передбачає на увазі розподіл системи управління на горизонтальні шари, що управляють загальною поведінкою робота, розрахунком необхідної траєкторії руху маніпулятора, поведінкою окремих його приводів і шари, які безпосередньо здійснюють управління двигунами приводів.

Підпорядковане управління служить для побудови системи управління приводом. Якщо необхідно побудувати систему управління приводом по положенню (наприклад, по куту повороту ланки маніпулятора), то система управління замикається зворотнім зв'язком по положенню, а всередині системи управління по положенню функціонує система управління по швидкості зі своїм зворотнім зв'язком за швидкістю, всередині якої існує контур управління по струму зі своїм зворотнім зв'язком.

Сучасний робот оснащений не тільки зворотніми зв'язками по положенню, швидкості і прискорення ланок. При захопленні деталей робот повинен знати, чи вдало він захопив деталь. Якщо деталь тендітна або її поверхня має високу ступінь чистоти, будуються складні системи зі зворотним зв'язком по зусиллю, що дозволяють роботу брати деталь, не пошкоджуючи її поверхню і не руйнуючи її.

Управління роботом може здійснюватися як людиною-оператором, так і системою управління промисловим підприємством, що погоджують дії робота з готовністю заготовок і верстатів з числовим програмним управлінням до виконання технологічних операцій. Системи управління рухами робота підрозділяються на циклові, позиційні і контурні.

Циклова система найбільш проста, так як програмують зазвичай дві позиції: початок і кінець переміщення об'єкта. У роботах з цикловим управлінням широко використовують пневмо-привід.

Позиційна система управління задає не тільки послідовність команд, а й положення всіх ланок робота, її використовують для забезпечення складних маніпуляцій з великим числом точок позиціонування. При цьому траєкторія

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інструменту між окремими точками не контролюється і може відхилитися від прямої, що з'єднує ці точки. Однак завершення переміщення в кожній точці забезпечується з заданою точністю. Систему називають однопозиційною, якщо вона передбачає зупинку інструменту в кінці кожного окремого переміщення (в кожній точці). Така система придатна для контактної точкового зварювання, для складальних і транспортних операцій.

Багатопозиційна система управління передбачає проходження проміжних точок без зупинки із збереженням заданої швидкості. При достатній частоті проміжних точок така система управління забезпечує переміщення об'єкту по заданій траєкторії і тому може використовуватися для дугового зварювання. Однак в цьому випадку введення програми в пам'ять робота вимагає значних витрат часу.

Контурна система управління задає рух у вигляді безперервної траєкторії або контуру, причому в кожен момент часу визначає не тільки положення ланок маніпулятора, а й вектор швидкості руху інструменту. Ця система забезпечує рух інструменту по прямій лінії або окружності шляхом завдання відповідно двох чи трьох точок ділянок траєкторії. Це істотно спрощує навчання робота, так як окремі ділянки траєкторії можуть інтерполювати дугами окружності і відрізками прямих. Роботи з контурним управлінням використовують для переміщення об'єктів та проходження відрізка шляху не по прямій лінії.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розділ 2. АНАЛІЗ ТА ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПЛАТФОРМИ

### 2.1. Аналіз існуючих методів обміну даних

Були розглянуті такі варіанти під час вибору бездротової технології:

- NRF;
- Bluetooth;
- Wi-Fi .

Загалом радіокеровані системи користуються стандартними каналами зв'язку на частоті 26,965—27,405 МГц, яка є цивільним діапазоном радіочастот. Різні радіо-модулі (наприклад, nrf24l01), які можна легко знайти у вільному доступі, дають можливість отримувати безперебійний сигнал на відстані до 2 км. Але в цьому разі необхідно окремо проектувати пульт керування. Така відстань не є потрібною для цієї системи, тому ми не розглядатимемо варіантів встановлення бездротового каналу.

Вибираючи між Wi-Fi та Bluetooth технологіями було проведення порівняльної характеристики, показані у табл 2.1.

У цьому випадку швидкість передачі даних не така важлива, таке передаватимуться лише текстові інструкції, невеликого об'єму .

Керування платформою передбачає собою виконання невеликих ділянок, тому площа роботи до 30 м є цілком влучною.

Після проведення аналітичних робіт порівняльної характеристики був створений бездротовий канал використаний технологію Bluetooth. Вона повністю задовільняє технічне завдання. на сьогоднішній день це одна з найрозповсюдженіших технологій безпроводникової передачі даних. Нею багато користуються у різних системах, наприклад: «розумний» будинок, автоматичне контролювання приміщенням, навушники. Найзахищенішим

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

способом передачі даних вважають Bluetooth, тому що основним принципом роботи є FHSS (Frequency-hopping spread spectrum).

Таблиця. 2.1

Порівнювальні характеристики Bluetooth та Wi-Fi

	<b>Bluetooth</b>	<b>Wi-Fi</b>
<b>Частота</b>	2.4 GHz	2.4, 3.6, 5 GHz
<b>Ціна</b>	Низька	Висока
<b>Пропускна здатність</b>	800 Kbps	11 Mbps
<b>Характеристики</b>	Bluetooth SIG	IEEE, WECA
<b>Безпека</b>	Досить висока	Нижче середньої
<b>Використовуючі пристрої</b>	Смартфони, миші, клавіатури, апаратура для офісу та происловості	Комп'ютери, ноутбуки, сервери, телевізори, смартфони
<b>Вимоги до апаратури</b>	Пристрій Bluetooth на всіх пристроїв, що з'єднуються один з одним	Бездротові пристрої у всіх системах мережі, бездротовий маршрутизатор та бездротові точки доступу
<b>Дальність зв'язку</b>	5-35 м	З 802.11, основний діапазон складає 33 метри з різними перешкодами і 95 метрів на відкритій місцевості..
<b>Енергетична затратність</b>	Низька	Висока
<b>Зручність у використанні</b>	Порівняно не складний у використанні. Використовують для підключення багатьох пристроїв за раз. Має можливість легкого переключення між пристроями. Знаходить та підключається до будь-якого пристрою.	Складний у використанні. Вимагає додаткового апаратного та програмного забезпечення. Підключається тільки до одного пристрою.
<b>Затримка даних</b>	200мс	150мс
<b>Швидкість</b>	2.2Mbps	610 Mbps

Отже, передавач ділить матеріал на пакети і подає їх за нібито-випадковим алгоритмом стрибкоподібної перебудови частоти (1600 Гц). Таким чином, кожні 625 мс міняється частота поєднання. Тож, читати дані один одного можуть лише пристрої, що налаштовані на однакову схему передачі, який при підключенні отримує передавач та надсилає «ключ» до нього приймачу.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб виконати поставлену ціль вибрали Bluetooth модуль HC-06. Він відрізняється своєю надійністю від інших версій. За допомогою цього модуля виконується передача даних по інтерфейсу UART, це дає можливість легко приєднати його до великої кількості мікроконтролерів. Також ми маємо змогу міняти ім'я, пароль, швидкість передачі даних інтерфейсу UART.

Щоб приєднати Bluetooth модуль до Atmega328 необхідно все порівняти між логічними рівнями, де працюють два цих пристрої. Таким чином, на Atmega маємо 5В , а на Bluetooth модулі 3,3В. Щоб забезпечити досить тривалу та коректну роботу модуля необхідно змінити до нижчих показників напругу з інтерфейсного контакту UART Tx (transmitter), який йде на Rx (receiver) Bluetooth. Для усунення таких проблем необхідно користуватися звичайним подільником напруги на двох резисторах. Бездротовий канал можна представити таким чином у вигляді блок-схеми, зображеної на рис.2.1.

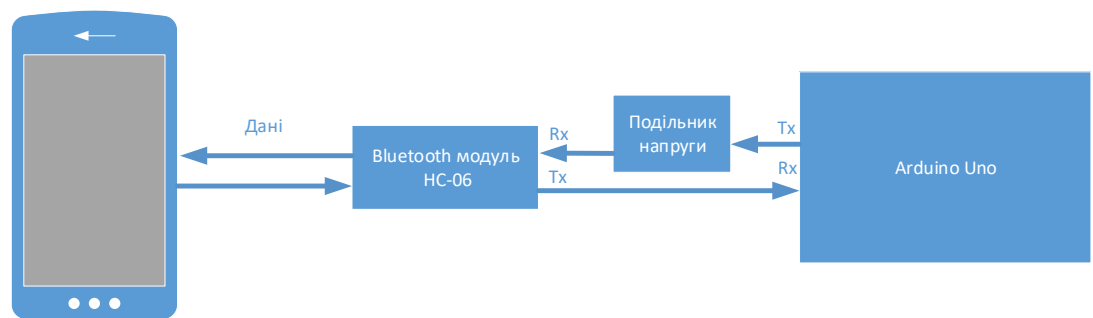


Рис. 2.1 – Блок-схема бездротового каналу

Цією схемою можна користуватися будь-де. Наприклад у з дистанційним кермуванням по Bluetooth.

## 2.2 Вибір компонентів системи на основі патентного пошуку

Було проведено патентний пошук пристроїв-аналогів та прототипів, що створюється. Цей винахід відноситься до області безпроводних технологій та роботизованих керуючих розумних систем.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### **2.2.1. Ультразвуковий безпроводний дефектоскоп**

П'єзоелектричний перетворювач, який вміщає в собі ультразвуковий безпроводний дефектоскоп, аналоговий блок, генератор ультразвукових коливань, блок аналого-цифрового перетворення, блок керування, блок безпроводної передачі даних за стандартом "bluetooth" і джерело живлення, при цьому п'єзоелектричний перетворювач з'єднаний з відповідними входами аналогового блока та генератора ультразвукових коливань, вихід аналогового блока з'єднаний із входом блока аналого-цифрового перетворення, вихід якого підключений до входу блока керування, вихід якого з'єднаний із входом блока безпроводної передачі даних за стандартом "bluetooth", призначеним для того щоб встановлювати безпроводний зв'язок за стандартом "bluetooth" між блоками керування та комп'ютером, визначеними для точної обробки даних, а згадані блоки з'єднані з відповідними виходами джерел живлення та блока керування.

### **2.2.2. Пристрій здійснення керування шляхом широтно-імпульсної модуляції**

Пристрій за допомогою яких керують за способом широтно-імпульсної модуляції включає трансформатор з первинною та вторинною обмотками, вторинна обмотка на додаток до кінцевих виводів має щонайменше ніж два відводи всередині, при цьому до кожного відводу приєднано керований комутаційний електричний елемент, також кожний керований комутаційний електричний елемент приєднано до кінцевого відводу вторинної обмотки, електричне навантаження приєднано одним виводом до кінцевого виводу вторинної обмотки трансформатора, а другим виводом до керованих комутаційних електричних елементів. Всі керовані комутаційні електричні елементи приєднані до одного контролера, який має первинний вхід для першого сигналу керування.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.2.3 Інтерактивна система дистанційного керування об'єктами

Інтерактивна система дистанційного керування пристроями, яка містить в деяких випадках не один прилад керування, пов'язаний з одним або з великою кількістю кінцевих контрольованих пристроїв. Такі об'єкти згруповані у класи що відповідають географічному положенню, кожний клас складається із стандартної станції в якій знаходиться здебільшого не один кінцевий контрольований пристрій. Такий пристрій зв'язаний каналами зв'язку повз мережу приймачів та передавачів з контролерами які мають можливість підключення адаптера інтерфейсу до останнього підконтрольного пристрою. Відмінність в тому, що адаптер інтерфейсу виконано з можливістю безпосереднього управління кінцевим підконтрольним пристроєм, що містить сенсори для забезпечення стабільної роботи кінцевого контрольованого пристрою. При відправці статистичних даних про роботу кінцевого контролю системи на станцію класу, через мережу приймачів та передавачів з контролерами, системи управління стають персональними пристроями користувачів для спільного призначення. Вони стають такі як у смартфонах, які містять облікову систему з пам'яттю, наприкладі мікроконтролера, який пов'язаний з мережевими та локальними інтерфейсами. Ввід та вивід з джерелом живлення виконано за рахунок програмного розширення функцій управління та моніторингу кінцевих керуючих систем. За допомогою мережевого зв'язку з базовою станцією класу, що представляє собою мікрокомп'ютер та вміщує щонайменше один обліковувачий пристрій. Такі мікроконтролери поєднуються з мережевими та локальними інтерфейсами та джерелом живлення і внаслідок цього станція виконує передачу даних та моніторить систему керування приладами.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СХЕМИ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ

### 3.1 Розробка схеми електричної структурної

Структурна схема роботизованої платформи для переміщення об'єктів повинна виконувати всі функції, викладені в технічному завданні до даної роботи. Виходячи з цього, розглянемо блоки пристрою, що виконують свої функції та перебувають у взаємозв'язку між собою. Структурна схема зображена на рис.3.1.

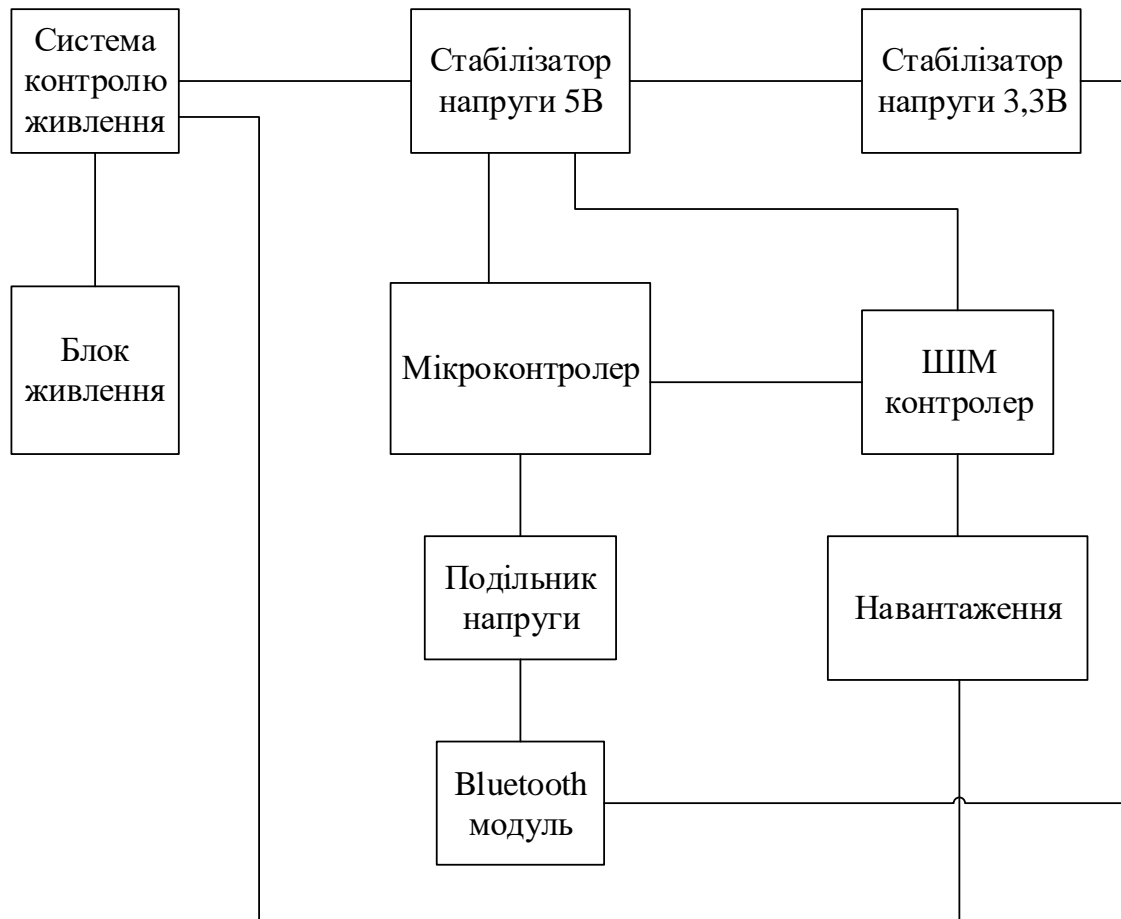


Рис. 3.1 – Структурна схема системи

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 3.2. Розробка схеми електричної принципової

В основі системи керування лежить мікроконтролер Atmega328. Приймаючи сигнал від блютуз модулю він обробляє його і формує інструкцію для мікросхеми PCA9685PW, підключеної до портів PC4, PC5 (SDA, SCL відповідно). Це інтерфейс I2C (рис.3.2.). Також на ці порти виконується «підтягнення» високого рівня через резистори R13, та R14 номіналом 4,7кОм.

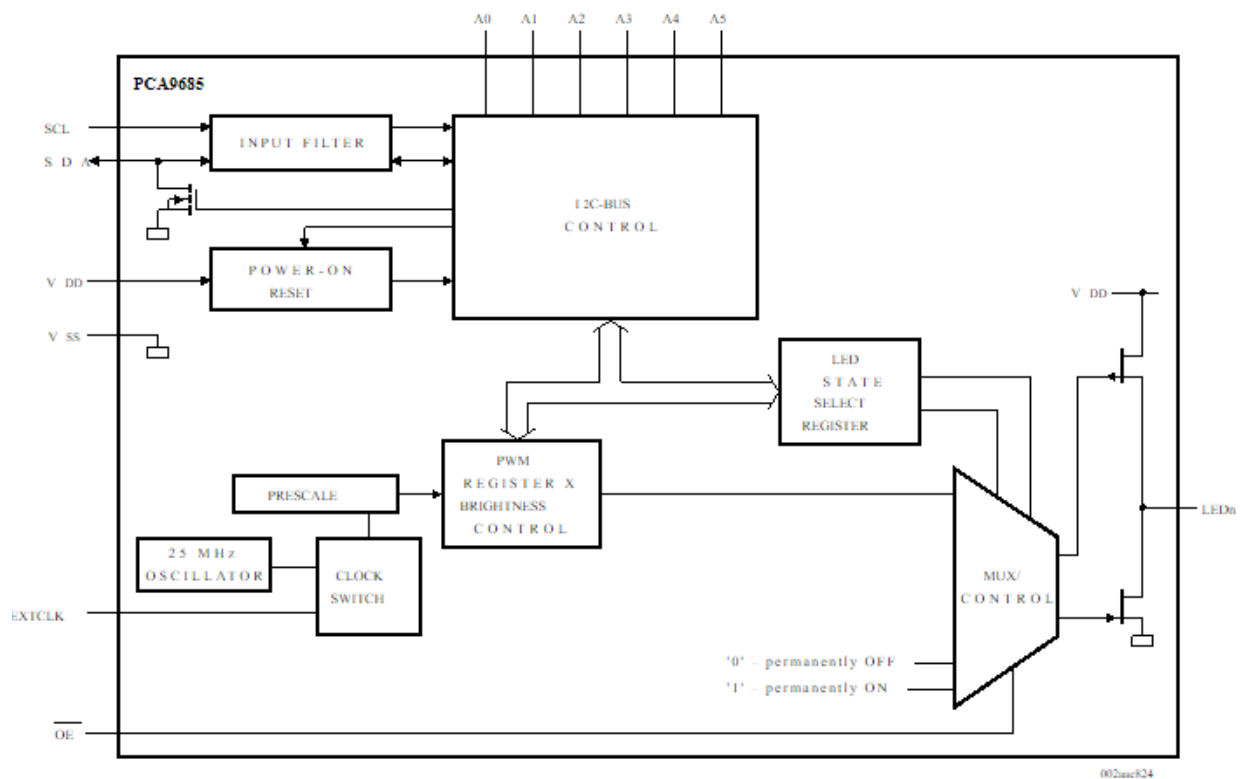


Рис. 3.2. Структурна схема ШІМ контролера

Виходи, до яких під'єднуються сервоприводи, мають живлення, яке йде на пряму від акумулятора, сервомотори потребують досить високу напругу, тому використовується акумулятор на 7,4В. Широтноімпульсний сигнал генерується мікросхемою PCA9685PW та направляється до сигнальних виводів сервоприводів. Структурна схема ШІМ контролера показана на рис.3.3.

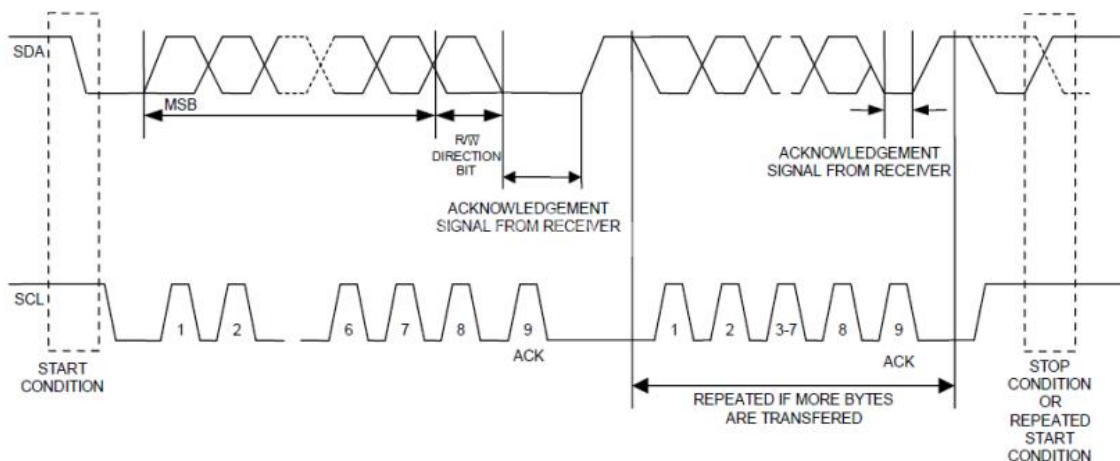


Рис. 3.3 Протокол передачі даних I2C

Для зручного програмування усієї системи в цілому, було додано перетворювач інтерфейсів USB – UART в схему, найбільш відповідною мікросхемою є CP2102, тому її було додано в пристрій. Вона підключається безпосередньо до портів мікроконтролеру PD0 та PD1, на Bluetooth позначені як (Rx, Tx), тобто інтерфейс UART, через який можна виконувати зручне програмування. Схема передачі даних між пристроєм керування та платформою побудована на основі Bluetooth модуля HC-06, він під'єднується через контролер до портів PD0 та PD1 інтерфейсу UART (рис. 3.4.).

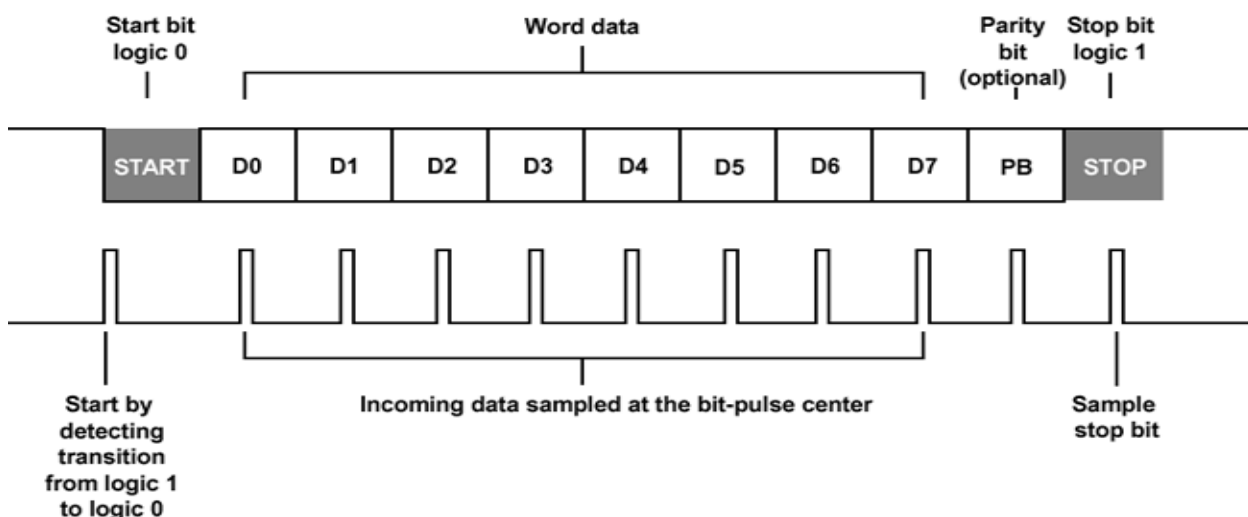


Рис. 3.4 Робота інтерфейсу UART



### 3.3. Вибір мікроконтролера

Задача полягає у необхідності вибору мікроконтролера, який дає змогу реалізувати всі функції управління платформою, і буде мати в своєму складі необхідний набір потрібних функцій для реалізацію проекту.

Окрім вище описаного, при виборі мікроконтролера необхідно звертати увагу на наступні функції:

- 1) швидкість роботи;
- 2) не висока енергозатратність;
- 3) стабільна напруга живлення;
- 4) наявність потрібних для роботи інтерфейсів.

Розглянемо наступні характеристики різних мікропроцесорів (табл.3.1), які необхідні для розробки потрібних функцій проектного приладу.

Таблиця 3.1

Параметри мікропроцесорів

Параметр	Тип мікропроцесора		
	ATmega328P	STM32F30	PIC32MZ2048E
1) Кількість регістрів	33 x 9	40 x 8	32 x 8
2) Продуктивність	21 на 21 МГц	90 на 79 МГц	425 на 210 МГц
3) Напруга живлення, В	2.7 – 5.5	2,0 – 3.6 В	2,2 – 3.6 В
4) Інтерфейс USB	присутній	присутній	присутній
5) Робоча напруга, В	1.9 – 5.6	2,1 – 3.7	2,3 – 3.7
6) Максимальна тактова частота, МГц	0 - 20	0 - 74	0 - 210
7) Наявність UART та інтерфейсу I2C	присутні	присутні	присутні

Мікропроцесор ATmega328P має найбільш розширену дієву напругу, в наслідок цього відбується спрощення розробки системи живлення контролеру та інших пристроїв. Для вирішення задачі частоти у 20 МГц буде вистачати.

Мікропроцесор підтримує всі інтерфейси на вимоги поставленої задачі. Код для Atmega328 реалізований bootloader для Arduino IDE, таким чином

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значно спрощується реалізація програмної частини платформи. При виборі контролера було взято за увагу всі переваги, функції та простоту використання і зроблено вибір в сторону мікросхеми ATmega328P.

### 3.4. Вибір мікросхем для конвертації USB інтерфейсу в UART інтерфейс

Вибір інтегральної схеми було виконано взявши до уваги матрицю параметрів. Для цього було використано порівняно чотири інтегральні схеми, які є аналогічними за функціональністю. Серед фаворитів розглянуто такі серії: CP2102, CP2109, CH340G, CH340. Дані контролери виконують функції призначені для перетворення даних з USB в другі інтерфейси. Всі параметри контролерів можна спостерігати в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Основні параметри порівнюваних інтегральних схем

ІС	Характеристики				
	Струм споживання	Струм споживання в режимі сна	Час затримки	Максимальна напруга живлення	Максимальна температура
CH340G	20 мА	80 мкА	25 мкс	3,30 В	125 °С
CP2109	17 мА	90 мкА	25 мкс	3,30 В	125 °С
CP2102	12 мА	50 мкА	20 мкс	3,30 В	125 °С
CH340	12мА	150 мкА	20 мкс	3,30 В	85 °С
b <sub>j</sub>	0,3 мА	0,3 мкА	0,3 мкс	0,05 В	0,05 °С

У таблицю записується коефіцієнт вагомості. Коефіцієнт важливості обраний таким чином, щоб мати змогу визначити основні технічні характеристики, такі як: швидкість, потужність яка споживається. Величина коефіцієнта важливості визначається відповідно до важливості того чи іншого параметра. При цьому найбільш важливий параметр повинен відповідати

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





Визначивши  $Q_i$  для кожної ІС, вибираємо найменше значення  $Q_i$  - йому відповідає найкраща ІС.

З аналізу значень  $Q_i$  робимо висновок, що оптимальною по розглянутих параметрах є ІС СР2102. Ця серія мікросхем і буде використовуватися при розробці пристрою. Вона володіє найбільш підходящими значеннями параметрів.

### 3.5. Вибір компонентів

Основні вимоги на які потрібно звертати увагу при проектуванні радіоелектронної апаратури, це достатньо висока надійність, швидкість роботи, нормальна вартість приладу та мінімальні розміри елементів. Також, при проектуванні досить доречно використання здебільшого цифрові мікросхеми, тому що, вони такі мікросхеми показують високу швидкість роботи схеми, компактність мікросхеми, досить меншу похибку при вимірюваннях, що підходить для пристроїв-вимірювачів, спрощення виробництва. Враховуючи вище перераховані параметри, було зроблено вибір елементної бази. При виборі параметрів резистора враховуємо наступні параметри: номінальний опір, нормований допуск, розсіювана потужність, робоча температура, тип резистора, максимальна робоча напруга, спосіб монтажу.

#### Вибір резисторів.

Враховуючи все вище перераховане та з технічного завдання і схеми електричної принципової, було обрано потрібний тип резисторів. Було прийнято рішення використовувати резистори SMD 0805 5%. У пристрої використання високоточних резисторів недоцільно, тому допуск  $\pm 5\%$  підходить. Потужність 0,125 Вт. Робоча температура  $-55^\circ\text{C} \dots +125^\circ\text{C}$  з великим допуском покриває температурний режим роботи резисторів в

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристрої. Максимально робоча напруга 150В, є достатнім для коректної роботи пристрою.

### **Вибір конденсаторів**

При виборі конденсатора для даної платформи було враховано наступні параметри: необхідне значення ємності конденсатора, робоча напруга конденсатора, необхідна точність, тип конденсатора, робоча температура, спосіб монтажу.

Аналізуючи дані параметри, вибрали конденсатор, який буде задовольняти всі вимоги викладені в ТЗ і схемою електричної принципової. Зупиняємо свій вибір на керамічних конденсаторах 0805 50В Х7R 10%. Конденсатор має точність  $\pm 10\%$ . Робоча напруга на 50 В. Діапазон робочих температур: від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ . SMD компонент. Даний конденсатор широко поширений, характеризується високою стабільністю ємності, широким діапазоном робочих температур, невисокою вартістю.

### **Вибір Bluetooth модуля**

В якості модуля, що буде налагоджувати безпроводний зв'язок системи та користувача обираємо HC-06. Цей модуль відрізняється більшою надійністю від попередніх його версій. Даний модуль використовує інтерфейс передачі даних UART, що дає змогу без проблем підключити його до більшості мікроконтролерів. Окрім цього, існує можливість змінювати його ім'я, пароль, а також швидкість передачі даних інтерфейсу UART.

### **Вибір ШІМ контролера**

В якості ШІМ контролера обираємо мікросхему PCA9685PW. Вона має 5В логіку, що погоджується з обраним контролером. Також великий діапазон частот 20-20000Гц, а також власний ШІМ генератор. Окрім цього, обрана

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

схема отримує данні по шині I2C, що дозволяє одночасно давати інструкції усім серводвигунам[8].

### **Вибір транзисторів**

Транзистори і діоди обрані відповідно до функцій, які вони виконують в схемі. Основними критеріями при цьому були: струм колектора, допустима зворотня напруга та ціна, обрано транзистор BC547.

### **Вибір роз'ємів**

Конструктивно даний пристрій відповідно до технічного завдання повинен мати блочну конструкцію. Поєднання між блоками виконується за допомогою з'єднувачів PBS1X5, PLS1X3, USB MINI 5PIN BF. При виборі таких з'єднувачів були враховані такі їх властивості: конструкція з'єднувача, кількість виводів, максимальний допустимий струм.

### **Посадкові місця**

Посадкові місця інтегральної схеми визначається видом корпусу, що характеризується його габаритними і приєднувальними розмірами, числом виводів і розташуванням їх відносно площини корпусу. Виводи мікросхеми можуть розташовуватися в площині підстави корпусу (планарні) або бути перпендикулярними йому (штирьові).

У пристрої використовуємо SMD мікросхеми. Вибір даного типу компонентів був зроблений виходячи з великої кількості переваг. Основною перевагою є зменшення розмірів тіла, а отже збільшення щільності розміщення компонентів і зменшення габаритів, маси пристрою.

Для подальшого монтажу інтегральної мікросхеми на друкованій платі, розглянемо посадочні місця для Atmega328, PCA9685PW, CP2102, HC-06. Посадкові місця для PCA9685PW зображено на рис.3.1.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

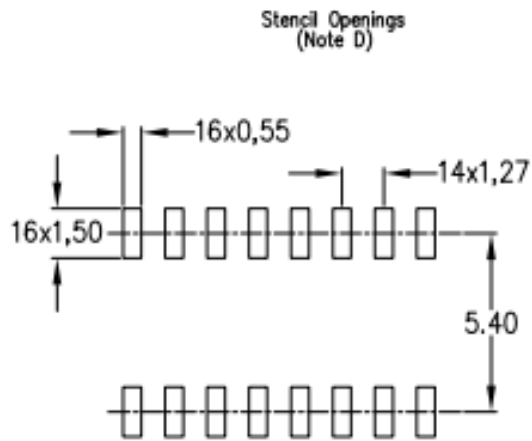


Рис. 3.6 Посадкові місця для PCA9685PW

Посадкові місця для мікроконтролера Atmega328 вказано на рис.3.7.

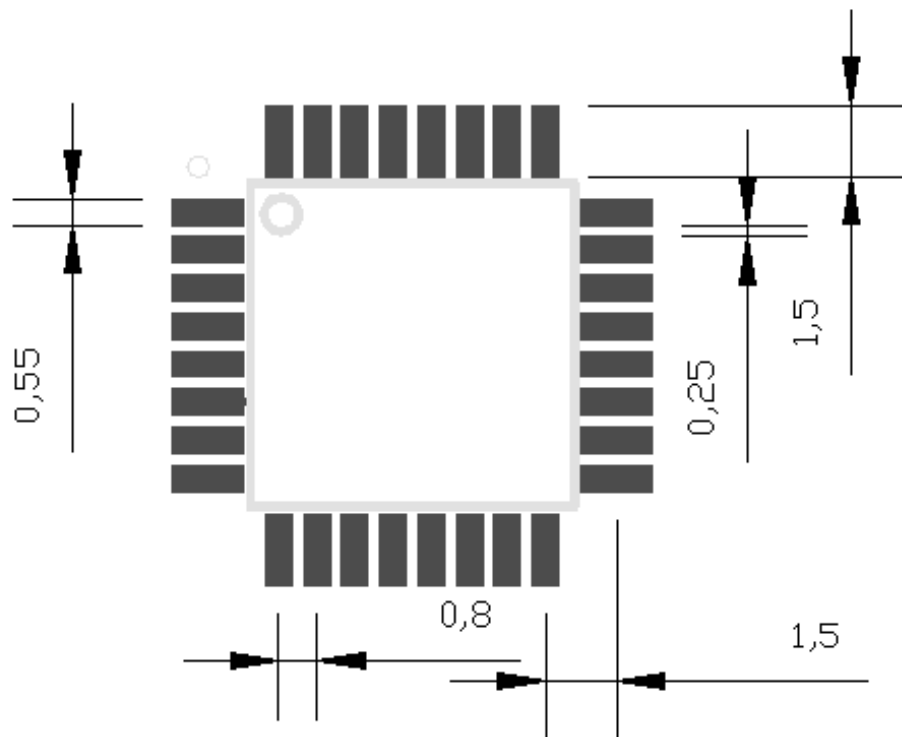


Рис. 3.7 Посадкові місця для мікроконтролера Atmega328

Посадкові місця для Bluetooth HC-06 вказано на рис.3.8.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



резисторів, на яких побудовано подільник напруги, ми отримуємо встановлений рівень спрацювання стабілітрону. Між індикатором заряду та розряду різниця у використанні р-п-р транзистору ВС547, який при закритті стабілітрону відчиняється, та, завдяки цьому такому поєднанню, засвічує світлодіод індикації.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ДРУКОВАННОЇ ПЛАТИ

### 4.1. Вибір друкованої плати

Друкована плата застосовується для електричного з'єднання компонентів і виступає ізоляційною основою на лицевій стороні якої розміщені конструктивні компоненти, а на іншій стороні розміщені елементи друкованого монтажу: друковані площадки, контактні провідники, металізовані монтажні отвори.

Друковані плати за своєю конструкцією поділяються на класи:

- двосторонні (двошарові) – ДДП;
- багатошарові – БДП.
- односторонні (одношарові) – ОДП;

Двосторонні друковані плати мають провідники на одній стороні діелектричної основи. Вони являються простими за конструкцією та технологією виготовлення. Монтажні і практичні можливості таких плат низькі. Надійність цих плат і механічна міцність кріплення компонентів також невисока.

Двосторонні друковані плати мають провідники з обох сторін основи. Вони мають високу щільність монтажу, підвищену надійністю з'єднань. Полегшують трасування провідників і заощадити місце на платі завдяки щільному розміщенню елементів. ДДП мають досить високу механічну міцність кріплення. Такі друковані плати допускають монтаж PLS - елементів з одного боку та SMD - компонентів з двох сторін. Такий спосіб дозволяє реалізувати на платі більш складні схеми, ніж на ОДП. Тому двосторонні друковані плати широко використовуються в електронній апаратурі.

Багатошарові друковані плати складаються з тонких шарів діелектрика, що чергуються. У процесі виробництва всі шари фізично поєднуються в одне ціле - багатошарова основа. Залежно від технології виготовлення БДП,

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підключення до електричної багатошарової структури може бути здійснено наскрізними отворами або із застосуванням міжшарових переходів. Міжшарові переходи в зовнішніх шарах на внутрішніх називаються захлушками, а між внутрішніми шарами - схованими.

Згідно вимог до проекту і схеми електричної принципової вибираємо ДДП для нашого випадку. Такий вибір зроблено виходячи з аналізу типів ДП. Вибір ДПП забезпечує необхідну точність, щільність монтажу, надійність плати і мінімальну вартість.

### **Вибір матеріалу друкованої плати**

Правильний вибір компонентів, технологічних процесів і елементної бази при розробці сучасних друкованих з'єднань багато в чому визначає рівень надійності та працездатності електронного пристрою, для раціональних економічних витратах на виробництві.

При виробництві друкованих плат застосовуються власні та імпорتنі матеріали різних виробників. Компоненти, що застосовуються в якості основи для друкованих плат повинні мати:

- достатньо високі електроізоляційні властивості;
- високу механічну міцність;
- стійкість до кліматичних умов.

Ці вимоги виконують електротехнічні матеріали: склотекстоліт, кераміка та сапфір.

На даний час основним параметрів є опір займання. Для такого параметру виділені полімерні матеріали FR-1 ... FR-5. Досить поширеним матеріалом для виробництва ДДП і БДП є FR-4. Стандартний FR-4 представляє собою композитивний матеріал на основі склотекстоліту. Застосування FR-4 дозволяє отримати отвори високої якості, а це важливо для монтажу елементів.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, для реалізації ДДП обраний матеріал FR4-2-35-1,5. Даний матеріал є склотекстоліт з підвищеною термостійкістю, товщиною 1,5 мм, покритий з двох сторін мідною електролітичною фольгою яка має товщину 35 мкм.

#### 4.2. Вибір класу точності друкованої плати

Точність виготовлення друкованої плати залежить від ряду технологічних параметрів, з практичної точки зору, визначає основні параметри компонентів ДП. В першу чергу це відноситься до мінімальної ширини провідників, мінімального зазору між елементами провідного малюнка і до ряду інших параметрів.

ГОСТ 23571-86 дає п'ять класів точності друкованої плати. Вибір класу точності завжди пов'язаний з конкретним виробництвом. Вирішення цієї задачі в зворотному порядку може призвести до того, що проект не буде реалізований.

При застосуванні конструкторському-технологічному розрахунку потрібно використовувати граничні значення елементів друкованого монтажу та з урахуванням похибки їх виконання. Всі граничні значення компонентів друкованого монтажу і припустимі похибки наведені в табл. 4.1 і 4.2.

Таблиця 4.1

Граничні значення основних параметрів ПМ

Параметер	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{прг}$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	$lг$	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$b_{по}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{дт}$	0,40	0,33	0,25	0,20

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Допустимі похибки виконання елементів ПМ

Похибка	Обозначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{сп}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС	$\delta_o$	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КС	$\delta_{км}$	0.015(0.05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{фф}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні	$\delta_{фш}$	0,05

Виготовлення друкованої плати п'ятого класу точності вимагає застосування особливого і дуже точного обладнання, спеціальних матеріалів та створення у виробничих кімнатах «чистої зони». Таким вимогам відповідають не всі виробництва. Друкована плата невеликого розміру може виконуватися за п'ятим класом на обладнанні, яке забезпечує підприємство плат четвертого класу.

Друкована плата четвертого класу випускаються на високоточному устаткуванні, та вимога до матеріалів, обладнання і виробничих кімнат нижче, аніж для п'ятого класу.

Друкована плата третього класу є найбільш поширена, тому що, з одного боку, вона забезпечує достатньо високу щільність трасування та монтажу, а з іншого - для їх виробництва достатньо простого спеціалізованого обладнання.

Виробництво ДП другого і третього класу здійснюється на звичайному не спеціальному обладнанні. Такі друковані плати, з невисокими конструктивними параметрами якості, призначені для дешевих пристроїв з дуже малою щільністю монтажу.

Для дипломного проекту вибираємо 4-ий клас точності. Він забезпечить високу щільність трасування та монтажу. Завдяки цьому будуть виконуватись вимоги до надійності і габаритів проектного пристрою.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 4.3. Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати

При обранні необхідного методу виготовлення спочатку розглянемо наступні методи:

- хімічний субтрактивний;
- комбінований позитивний;
- попарне пресування друкованих плат;
- пошарове нарощування;
- металізація наскрізних отворів.

Всі вказані методи мають переваги, так і недоліки. Враховуючи ці якості було обрано комбінований позитивний метод. Даний метод заключається в отриманні з'єднувальних доріжок шляхом трюїння діелектрика і металізацію отворів електрохімічним способом. Основна суть такого методу полягає в трюїнні фольгованого матеріалу з послідовним витравленням фольги з окремих ділянок друкованої плати. Даний метод забезпечує отримання якісних ліній провідників друкованої схеми. Він характеризується досить меншою трудомісткістю в порівнянні з іншими методами. Друковані плати надійні, тому що, при цьому діелектрик знаходиться в сприятливих умовах, та завдяки фользі, яка оберігає його від дії електроліту.

### 4.4. Конструкторско-технологічний розрахунок елементів друкованої плати

Визначення мінімальної ширини провідника для постійного струму ланцюгів живлення. Мінімальна ширина друкованої доріжки по постійному струму  $b_{\min I}$  (мм), для ланцюгів живлення та «землі» визначається:

$$b_{\min I} = \frac{i_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.1)$$

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $I_{max}$  – максимальний струм в ланцюзі, А;  $j_{доп}$  – допустима щільність струму для ДП, яка виготовлена комбінованим методом,  $j_{доп} = 60 \frac{А}{mm^2}$ ;  $t_{пров}$  – товщина доріжки, що визначається рівнянням (4.2).

Друкована доріжка виготовлюється комбінованим позитивним шляхом. Згідно методу виготовлення провідника:

$$t_{пров} = h_{\phi} + h_{гм} + h_{хм}, \quad (4.2)$$

де  $h_{\phi}$  – товщина металу,  $h_{\phi}=0,045$  мм;  $h_{гм}$  – товщина шару гальванічно-осадженої міді,  $h_{гм} = 0,045$  мм;  $h_{хм}$  – товщина шару хімічно осадженої міді,  $h_{хм} = 0,0055$  мм;  $t_{пров}=0,045+0,045+0,0055=0,0865$  мм.

Параметр  $I_{max}$  в рівнянні (4.1.) визначається як добуток струмів, які споживають усі елементи схеми. Значення струмів, які споживають активні елементи схеми, показані у табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Струми, що споживають елементи схеми

ІС	Кількість ІС	І <sub>спож</sub> , мкА
АТmega 328P-MU	1	2100
НС-06	1	2400
РСА9685PW	1	1450
СР2102	1	1300
LM7805	1	4300
XS	17	20000

У результаті отримуємо:

$$I_{max} = 2100 + 2400 + 1450 + 1300 + 4300 + 20000 \cdot 16 = 3\,210\,750 \text{ мкА.}$$

Далі мінімальна ширина друкованої доріжки на постійному струмі для ланцюгів живлення та «землі» вираховується наступним чином:

$$b_{\min 1} = \frac{I_{\max}}{j_{доп} \cdot t_{пров}} = \frac{3.3}{60 \cdot 0,0965} = 0,6 \text{ мм.} \quad (4.3)$$

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримане значення мінімальної ширини доріжки  $b_{\min 1} = 0,6\text{мм}$ . Отже, оптимальна ширина провідника для ланцюгів живлення і «землі» складає розрахованому значенню.

Визначення мінімальної ширини доріжки враховуючи допустиме падіння напруги на ньому. Мінімальна ширина провідника вираховується :

$$b_{\min U} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.4)$$

де  $\rho$  – питомий опір провідника, який виготовлено комбінованим позитивним методом,  $\rho = 0.0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ;  $L_{\text{пров}}$  – довжина найдовшої друкованої доріжки друкованої плати,  $L_{\text{пров}} = 85\text{мм}$ ,  $U_{\text{доп}}$  – допустиме падіння напруги на доріжці.

$$U_{\text{доп}} = 0,06 \times E_{\text{п}}, U_{\text{доп}} = 0,06 \times 5 = 0,25, L_{\text{пров}} = 0,147 \text{ м},$$

$$b_{\min U} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,249 \cdot 0,137}{0,0965 \cdot 0,25} = 24,74 \cdot 10^{-3} \text{ мм}. \quad (4.5)$$

Визначення діаметру монтажного отвору,

$$d \geq d_{\text{вс}} + \Delta d_{\text{мо}} + r, \quad (4.6)$$

де  $d_{\text{вс}}$  – діаметр виводу компонентів, для якого визначається діаметр отвору,  $\Delta d$  – нижнє відхилення від номінального діаметру МО,  $\Delta d_{\text{мо}} = 0,2 \text{ мм}$ ,  $r$  – різниця мінімального діаметра та максимального діаметра виводу елемента,  $r = 0,1 \dots 0,2 \text{ мм}$ ,

$$d \geq d_{\text{вс}} + \Delta d_{\text{мо}} + r = 0,5 + 0,1 + 0,2 = 0,8 \text{ мм}. \quad (4.7)$$

Розрахунок діаметра контактної площини,

$$D_{\min} = D_{\min 1} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03. \quad (4.8)$$

де  $D_{\min 1}$  – мінімальний ефектний діаметр, мм,  $h_{\text{ф}}$  – товщина фольги,  $h_{\text{ф}} = 0,045 \text{ мм}$ .

Коефіцієнт  $1,5 \cdot h_{\text{ф}}$  включає підтравлювання фольги друкованої доріжки у ширину,  $0,04$  – виготовлюють комбінованим позитивним способом.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_{\min I} = 2 \cdot (b_{no} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_o + \delta_{KM}), \quad (4.9)$$

де  $d_{\max}$  – максимальний діаметр отвору в друкованій платі, мм,  $b_{no}$  - ширина поясу КМ,  $b_{no} = 0,05$  мм,  $\delta_o$  - похибка розміщення отвору відносно вузла,  $\delta_o = 0,07$  мм,  $\delta_{KM}$  - похибка розміщення центру КМ відносно вузла КС,  $\delta_{KM} = 0,05$ .

Максимальний діаметр отвору друкованої плати:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (4.10)$$

де  $d$  - номінальний діаметр МО, мм,  $\Delta d$  - допуск на діаметр отвору,  $\Delta d = 0,05$  мм.

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,01 \dots 0,25) = 0,8 + 0,06 + 0,1 = 0,85 \text{ мм},$$

$$D_{\min I} = 2 \cdot (b_{no} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_o + \delta_{KM}) = 2 \cdot (0,05 + \frac{0,95}{2} + 0,07 + 0,05) = 1,29 \text{ мм}, \quad (4.10)$$

$$D_{\min} = D_{\min I} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 1,29 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,3725 \text{ мм}. \quad (4.11)$$

Максимальний діаметр КМ:

$$D_{\max} = D_{\min} + 0,035, \quad (4.12)$$

$$D_{\max} = 1,3625 + 0,035 = 1,3825 \text{ мм}.$$

Визначення мінімальної ширини доріжки.

$$b_{\min} = b_{np}^r + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03, \quad (4.13)$$

де  $b_{np}^r$  – мінімальна ширина доріжки. Визначимо з таблиці класів точності.

Для четвертого класу точності ДМ:  $b_{np}^r = 0,15 \text{ мм}$ .

$$b_{\min} = b_{np}^r + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,23 \text{ мм}. \quad (4.14)$$

Максимальна ширина провідника:

$$b_{\max} = b_{\min} + 0,02, \quad (4.15)$$

$$b_{\max} = 0,23 + 0,02 = 0,25 \text{ мм}.$$

Визначення мінімальної відстані між доріжкою та контактною площиною.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		









метод її виготовлення, оскільки потрібно визначити теплопровідність контактів, плати, залежність температурного опору основи і матеріалу корпусу.

Потужність, що виділяється на кристалі:

$$P=I*U = 140*10^{-3} * 0,6=0,08(\text{Вт}), \quad (4.34)$$

де I – струм колектора, U – напруга у відкритому р-n переході.

$$\Delta T=P*R_{KC}= 0,08*550 = 48.5 (^{\circ}\text{C}). \quad (4.35)$$

З цього слідує, що для гарної працездатності стабілізатора в подібних умовах, радіатор не потрібен. Для високої точності потрібно розрахувати ще променеву складову розсіювання, та вона досить не велика і нею можна знехтувати.

#### 4.7 Розрахунок надійності друкованої плати

Надійністю називається властивість технічного завдання виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників в заданих межах, що відповідають заданим режимам та умовам використання, технічного обслуговування, збереження і транспортування.

Надійність - властивості апаратури зберігати свої вихідні параметри в питаннях комерційної торгівлі та умовах експлуатації. Розрахунок надійності полягає у визначенні показників надійності виробу. В табл. 4.4 представлені параметри друкованої плати.

Таблиця 4.4

Параметри друкованої плати

<b>A, мм</b>	<b>B, мм</b>	<b>D, мм</b>	<b>P, г/см3</b>	<b>Маса плати, г</b>
80	60	1,4	1,8	9,8

Маси елементів друкованої плати представлені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Маси елементів друкованої плати

Елементи	Позначення	Маса, г
LM7805	DA1	2,1
AMS117	DA2	1,6
TL431	DD1, DD6	1,4
SSF8205A	DD2, DD5	0,4
S8252	DD3	0,3
CP2102	DD4	0,6
PCA9685PW	DD7	3,6
Atmega 328P-AU	DD8	2,2
HC-06	DD9	14
KF-301-500-2P	XP2-XP4	2,5
PLS1X3	XS1 – XS16	4
Резистори, конденсатори		3,3

Існує чотири види закріплення друкованих плат (рис. 4.4).



Рис. 4.4 Способи закріплення друкованих плат

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обраний спосіб закріплення – спірання на 3 сторони.

Вага друкованої плати та елементів:

$$m_n = a \cdot b \cdot d \cdot \rho = 0,05 \cdot 0,07 \cdot 0,0015 \cdot 1900 = 9,9 .$$

Розрахунок коефіцієнта  $K_B$ :

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_{\text{Э}}}{m_{\text{П}}}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{43,3}{9,9}}} = 0,43. \quad (4.36)$$

Коефіцієнта  $\alpha$ , при урахуванні обраного типу закріплення:

$$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}} = \pi^2 \cdot \sqrt{0,43 \cdot \frac{0,0049}{0,0025} + \frac{24 \cdot 10^{-6}}{6,25 \cdot 10^{-6}}} = 67,9. \quad (4.37)$$

Циліндрична жорсткість  $D$ :

$$D = \frac{E \cdot \delta^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot 0,0015^3}{12 \cdot (1 - 0,22^2)} = 9,06 (H \cdot m). \quad (4.38)$$

Частота коливань друкованої плати:

$$f_c = \frac{K_B \cdot \alpha}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{\nu \cdot \delta}} = \frac{0,43 \cdot 67,9}{2 \cdot \pi \cdot 0,11^2} \cdot \sqrt{\frac{9,06 \cdot 9,81}{2,05 \cdot 10^4 \cdot 0,0015}} \approx 653 (Гц). \quad (4.38)$$

Досліди показують, що якщо  $f_c > 260$  Гц, то конструкція достатньо жорстка.

Амплітуда коливань власної частоти:

$$A = \frac{0,26 * n}{f_c} = \frac{0,26 \cdot 8}{653} = 0,0032 (мм). \quad (4.39)$$

Коефіцієнт динамічності визначає в скільки разів амплітуда вимушених коливаннях відрізняється від амплітуди власної частоти коливань:

$$K_o = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_c}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{f * \varepsilon}{f_c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{5}{653}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{5 * 0,06}{653}\right)^2}} \approx 0,5. \quad (4.40)$$

Динамічне ушкодження:

$$W = K_o * A = 0,5 * 0,0032 \approx 0,0016 (мм).$$

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховуємо еквівалент такого ушкодження, при рівномірному розподіленню динамічного навантаження:

$$c_1 = 0,00406 + 0,018 \cdot \lg\left(\frac{a}{b}\right) = 0,00406 + 0,018 \cdot \lg(70/50) \approx 0,007. \quad (4.41)$$

$$P_D = \frac{W \cdot D}{c_1 \cdot b^4} = \frac{0,0016 \cdot 10^{-3} \cdot 9,06}{0,007 \cdot (0,05)^4} \approx 289,9 (H / m^2). \quad (4.42)$$

Максимальний розподілений ушкоджений момент:

$$c_2 = 0,0479 + 0,18 \cdot \lg\left(\frac{a}{b}\right) = 0,0479 + 0,18 \cdot \lg\left(\frac{70}{50}\right) \approx 0,074. \quad (4.43)$$

$$M_{\max} = c_2 \cdot P_D \cdot b^2 = 0,074 \cdot 289,9 \cdot 0,07^2 \approx 0,105 (H). \quad (4.44)$$

Допустима напруга для матеріалу друкованої плати:

$$[\sigma] = \frac{\sigma}{n_1} = \frac{105}{2} = 52,5 \quad (МПа). \quad (4.45)$$

Умова віброміцності:

$$\sigma_{\max} = \frac{6 \cdot M_{\max}}{10^6 \cdot \delta^2} \ll [\sigma], \quad (4.46)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{6 \cdot 0,105}{10^6 \cdot 0,0015^2} \approx 0,28 \quad (МПа) \ll 52,5 \quad (МПа). \quad (4.47)$$

Динамічне ушкодження не перевищує  $\frac{1}{5} \delta$  та умова віброміцності задовольняє.

Достатньо точна кількісний вимір надійності кожного конструктивного компоненту – його індивідуальна надійність до моменту виникнення відмови системи.

Важливою характеристикою довговічності вважається середній час довготривалої роботи:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}, \quad (4.48)$$

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Таблиця 4.6

## Коефіцієнти навантаження конденсаторів

C5, C6	0805-X7R-50-23пкФ-К Kemet	0.34
C2, C8, C10	0805-X7R-50-0,01мкФ-К Kemet	
C1, C5, C7	0805-X7R-50-0,23мкФ-К Kemet	
C4	0805-X7R-50-4,8мкФ-К Kemet	
C12	0805-X7R-50-11мкФ-К Kemet	
C8, C12	0805-X7R-50-24мкФ-К Kemet	

Таблиця 4.7

## Коефіцієнти навантаження резисторів

R4, R6, R6, R10, R11,R19	0805-0.125-340Ом±5% Hitano	1,86
R1, R2, R18	0805-0.135-1kОм±5% Hitano	0,658
R8	0805-0.135-1,6kОм±5% Hitano	0,435
R3, R6	0805-0.135-2kОм±5% Hitano	0,334
R8	0805-0.135-3,5kОм±5% Hitano	0,195
R13, R15	0805-0.135-4,7kОм±5% Hitano	0,147
R14	0805-0.135-8,2kОм±5% Hitano	0,089
R13	0805-0.135-10kОм±5% Hitano	0,075
R6	0805-0.135-11kОм±5% Hitano	0,069

По картам робочих режимів розраховуємо коефіцієнти навантаження, температурні коефіцієнти ІС та інші ЕРЕ, підраховуємо кількість всіх елементів. Вихідні дані для розрахунку  $\lambda_p$  наведені в табл. (4.8), де  $a_e$  – поправочний коефіцієнт впливу середовища (використовують для переносної апаратури  $a_e = 21$ ),  $a_t$  - поправочний температурний коефіцієнт.

Показники інтенсивності несправності, які наведені у таблиці (4.8), на порядок завищені, що дозволяє виконувати розрахунки для «найгіршого випадку».

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$P = e^{-\lambda pt} = e^{-1.86 \cdot 10^{-5} \cdot 8760} \approx 0,849. \quad (4.56)$$

Вірогідність відмови на протязі року:

$$Q(t) = 1 - 0,859 = 0,141. \quad (4.57)$$

На рис. 4.5 зображено графік залежності безперервної роботи ДВ та на рис. 4.6. вірогідність відмов ДВ від часу.

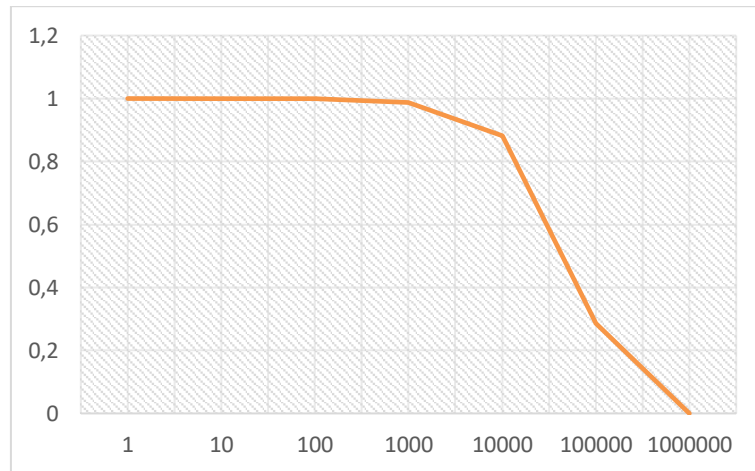


Рис. 4.5 Графік залежності безперервної роботи ДВ від часу

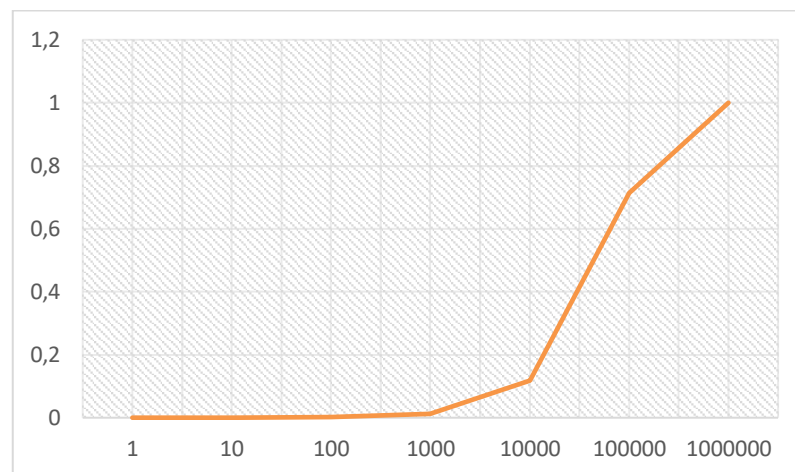


Рис. 4.6 Графік вірогідності відмови ДВ від часу

Отримане значення на відмову відповідає завданню дипломного проекту завданню.

## 4.8 Проектування друкованих плат в середовищі altium designer

Altium Designer - це програма, яка дає змогу реалізовувати проекти електронних систем на рівні схеми та програмного коду з зручною передачею інформації інженеру-проектувальнику ПЛІС або друкованої плати. Відмінною особливістю цієї системи є проєктована структура і цілісність ведення розробки на інших рівнях проєктування.

Система Altium Designer дає великі можливості для створення електронних пристроїв. Під час написання дипломного проєкту було розглянуто наступні можливості програми:

- самостійна розробка бібліотеки елементів (урахування УДО та посадкового місця);
- розробка схеми електричної принципової;
- розводка друкованої плати (можливість використання ручної розводки та автотрасування).

Процес створення ДП в середовищі Altium Designer виконувався в наступній послідовності:

1. Розробка проєкту друкованої плати, набір документів, необхідність виготовлення друкованої плати, призначення даних для вирішення одного конструктивного закінченого завдання. Документи являють собою подання в проєкт файлів багатьох типів. Редагування документів виконується спеціальним редактором, тому назва редактора сходиться з типом документа. Наприклад: PCB Editor призначений для редагування PCB-документів, Schematic Editor використовується для Schematic-документів, Schematic Library Editor призначений для Schematic Library-документів. Всі документи проєктів зберігаються в окремому файлі.

2. Створення бібліотеки елементів. Altium Designer має в своєму розпорядженні готові бібліотеки компонентів (приблизно 90000 різних

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компонентів). Використання цих бібліотек не дуже ефективно, тому що існує ряд наступних недоліків:

- бібліотека не включає в себе вітчизняну компонентну базу;
- більшість умовно-графічних позначень елементів не відповідають ГОСТ.

Для вірної та оптимальної роботи потрібно при проектуванні друкованої плати створити бібліотеку елементів і модель компонентів, які будуть відповідати усім вимогам.

Графічні рисунки та посадкові місця елементів створюються в редакторі (Library Editor). Програма Altium Designer має чотири типи бібліотек: бібліотека моделей, бібліотека символів, інтегрована бібліотека, база даних.

3. Розробка електричної принципової схеми. Редактор Altium Designer має власний набір панелей та інструментів для зручної роботи. Головною панеллю, в якій виконується робота в редакторі схем, являється Libraries. Altium Designer поділяє об'єкти, які знаходяться поруч з електричною схемою, поділяються на графічні та електричні.

Графічними об'єктами є:

- лінія;
- дуга, еліптична дуга;
- сплайн-крива;
- еліпс, зокрема коло;
- прямокутник, округлений прямокутник;
- графік.
- Багатокутник;
- секторная діаграма;

Електричними об'єктами є:

- схемні елементи;
- лінії електричного зв'язку;
- лінії групового зв'язку;

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Ще однією особливістю Altium Designer є те, що він дає змогу побачити як буде виглядати друкована плата в режимі 3D (рис. 4.8).

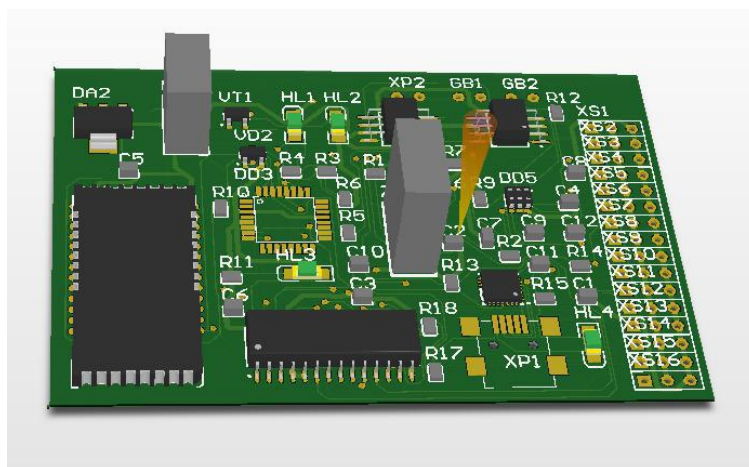


Рис. 4.8 Вигляд розробленої плати в режимі 3D

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 5. МАТЕМАТИЧНІ ЗАСАДИ ТА АЛГОРИТМИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РОБОТОМ

### 5.1. Розрахунок руху робота по плоскій та похилій поверхні.

На рис. 5.1. зображено типовий двоногий робот, що йде по рівній підлозі і по похилих площинах по змінним схилами. Рух робота визначається в неподільній системі координат, що називається світовим фреймом. Напрямок руху робота збігає з віссю  $X$  системи координат. Нерухомий корпус (рама кузова) можна розглядати як «центрально» ланку воно, так як і ноги з'єднані з нею. Паралельне вирівнювання робота змінюється під час ходьби через різні фактори, включаючи гравітаційні сили, взаємодію ніг з землею, зміна нахилів і ефекти зв'язку між лініями (рис.5.1. (а)).

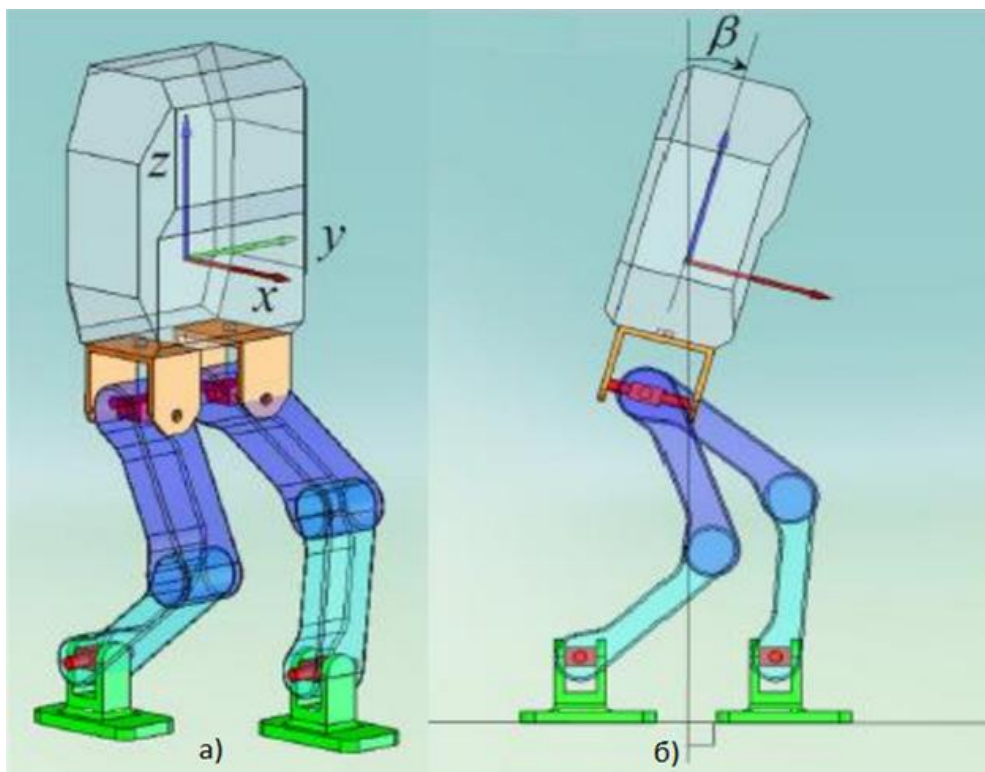


Рис. 5.1. Система координат тіла робота

Кут нахилу тіла, який представляє собою кут осі  $z$  глобальної системи координат з вертикальною лінією, є індикатором балансу ходу. Цей кут, позначений як  $\beta$ , показаний на рис. 5.1. (б) праворуч. Припускаючи, що хода

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з нульовим кутом нахилу тіла запланована в еталонному поколінні роботів-гуманоїдів, вимір цього кута може забезпечити зворотний зв'язок, який може передбачити падіння вперед або назад.

Існує багато керуючих дій, які можуть підвищити стабільність під час ходьби, впливаючи на кут нахилу тіла. Для роботів з незалежним шарнірним з'єднанням, яке ділить тіло на нижню частину тіла і верхню частину тіла, рух цього суглоба може бути безпосередньо використано для підвищення стабільності. Збереження кута нахилу тіла при певному контрольованому значенні також є досить поширеним, особливо для маніпуляцій з об'єктами і взаємодії робота та об'єкта. Використовується вертикальна орієнтація основного положення тіла. Вважається, що вертикальне положення має свої переваги на схилах. Мінімальний рух важкого верхнього тіла тягне за собою невелику кількість моментів зчеплення, отже полегшує завдання управління ходьбою. Однак ця легкість досягається за рахунок одного ступеня свободи, тому обертальний рух верхньої частини тіла необхідно уникати.

В даному випадку було прийняте рішення модифікувати крок робота на площині за рахунок обертання стопи навколо осі. Розташування цієї осі в системі координат тіла визначається параметром  $H_{body}$  із зміщенням параметрів на рис. 5.2., опорний параметр висоти тіла, який використовується в методах генерації опорного сигналу. Зсув  $X_{offset}$  це x-спрямована координата центральної точки правої та лівої опор стопи підошви, виражена в системі координат тіла.

Роль цього параметра зсуву полягає в тому, щоб помістити центр опорного полігону прямо нижче центру маси робота, показаного у вигляді кола на рис. 5.2. На рис. 5.2. (а) зображено положення робота стоячи, а на рис. 5.2. (б) справа зображений робот при ходьбі на рівній підлозі.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





де  $k$  - показник вибірки. Наступні функції описують роль  $\beta$  в регулюванні кута нахилу.

## 5.2. Управління по вектору швидкості захвату об'єкта

Функціональна схема системи управління по вектору швидкості верхніх кінцівок робота зображена на рис. 5.4.

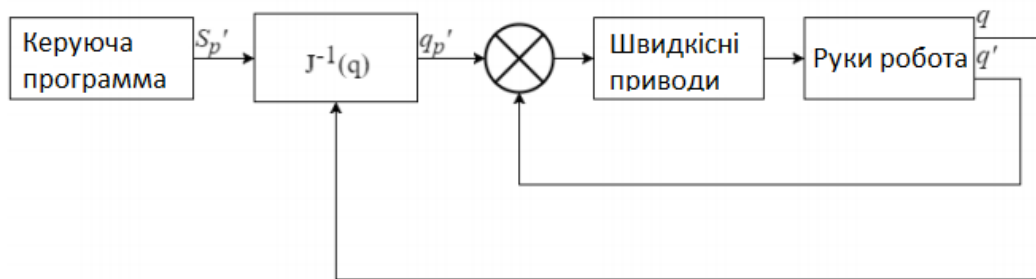


Рис. 5.4. Функціональна схема системи управління по вектору швидкості верхніх кінцівок робота

При управлінні кінцівкою по вектору швидкості на вхід системи управління подається керуюча програма, яка містить вектор швидкості  $S_p$  в базовій системі координат робочого органу робота. На приводи "руки-маніпулятора" подаються програмні швидкості  $q_p$ , розраховані за заданою програмною швидкістю робочого органу  $S_p$ , з використанням розв'язання оберненої задачі кінематики  $q_p = J(q)^{-1} S_p$ . Управління здійснюється за неузгодженості  $\Delta q_p = q_p - q$ , тобто використовується корекція у вигляді зворотного зв'язку по швидкості.

При швидкісному управлінні потрібно враховувати особливості пов'язані з матрицею Бориса Якобі. Якщо при деякому  $q$  виконується умова: визначник матриці Якобі не дорівнює нулю  $\det J(q) \neq 0$  (матриця не вироджена), тоді рівняння  $q = J^{-1}(q) S_c$  має єдиний вектор рішення. Якщо

						ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



координатах, в момент часу  $t_i (i = 0..n)$ . А управління здійснюється за неузгодженості, тобто дійсна траєкторія порівнюється з необхідною траєкторією і формує помилку в декартовій системі координат:

$$\Delta S_p = S_p - S = dS_p \cong S'_p. \quad (5.2)$$

Багатовимірний регулятор траєкторії формує програмне завдання на швидкість  $S_p$ . Як і при управлінні по вектору швидкості захвату необхідно, щоб в СПК, замкнутої по положенню захвату матриця Якобі була вироджена. Звернемо увагу, що в цьому випадку ми повинні виконувати більше обчислень в циклі, в результаті система може працювати на більш низькій частоті дискретизації в порівнянні з системою програмного керування зі сплайн інтерполятор.

#### 5.4. Принцип роботи платформи

Основу роботизованої платформи складають 15 серводвигунів, що з'єднані між собою за допомогою металевої конструкції (рис.5.6).

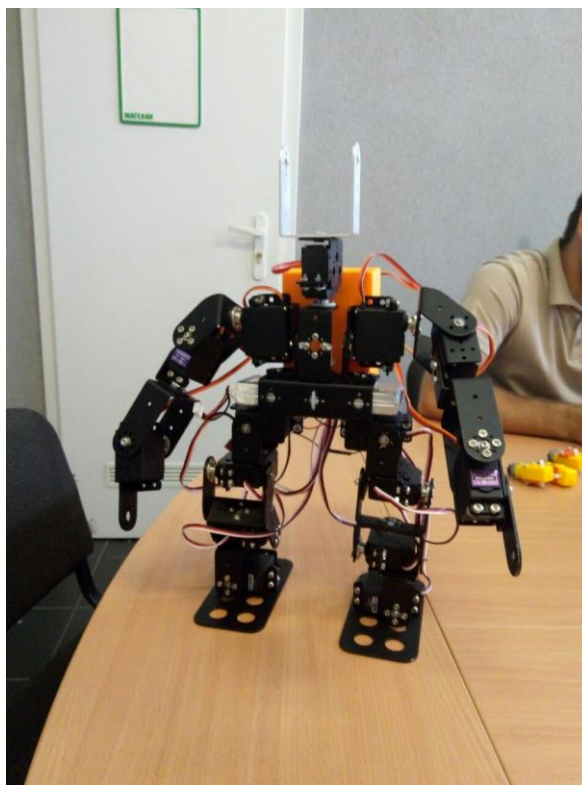


Рис. 5.6 Конструкція роботизованої платформи

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Також слід враховувати те, що одночасно можуть спрацювати усі 15 двигунів, а отже система повинна житися від акумулятора, який без проблем може видати потрібний струм у 14 ампер, з урахуванням струмів Atmega, Bluetooth та інших зовнішніх пристроїв.

Усю систему можна представити у вигляді блок-схеми на рис.5.8.

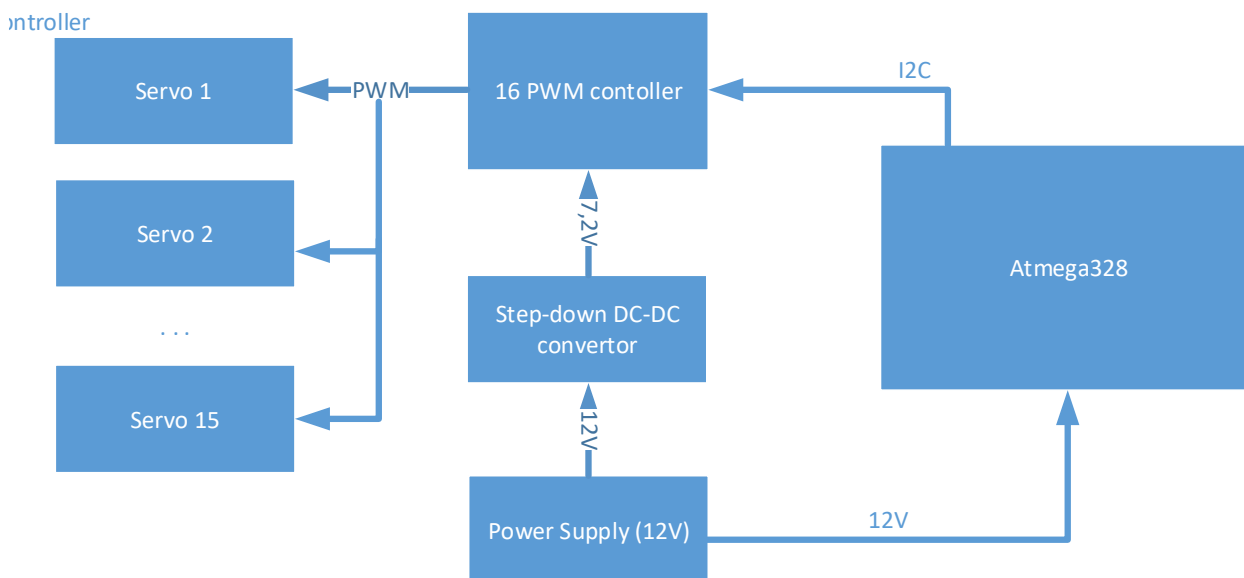


Рис. 5.8 Блок-схема роботизованої платформи

Під час випробувань системи було виявлено, що у даних серводвигунів згорає транзисторна збірка (h – міст) при різкій зміні ШІМ сигналу, або виходу сигналу за межі частоти, на якій працює серводвигун, через наскрізні струми.

Для рішення цієї проблеми можна було модифікувати кожен серводвигун та поставити у них більш потужні транзисторні збірки, але це займає багато часу, а також коштів. Тому було прийнято рішення цю проблему вирішити програмно.

## 5.5. Програмування контролеру Atmega328

Програмування контролеру було виконано через Arduino IDE, так як там присутні зручні бібліотеки для роботи з UART та I2C інтерфейсом, а також це спрощує саме програмування контролеру.

Для зручності програмування усієї системи у схему було добавлено перетворювач інтерфейсів USB – UART (мікросхема CP2102). Вона підключена до портів мікроконтролеру PD0 та PD1 (Rx, Tx) інтерфейсу UART, через які можна виконувати програмування.

При старті програма встановлює усі серводвигуни на початкове положення і перевіряє, чи не прийшли дані по UART. Якщо дані прийшли, то програма починає зчитування цих даних по алгоритму, котрий дозволяє синхронізувати контролер та телефон. Так дані будуть зчитуватися тільки при отриманні команди про початок передачі даних і до команди про кінець передачі. Якщо все гаразд, програма відправляє підтвердження про успішне зчитування даних та готовність прийняти наступне повідомлення. Якщо ні, програма відправляє команду про помилку і додаток на смартфоні повторить передачу даних. Таким чином, ми захищаємося від неповного зчитування даних, або отриманні двох та більше інструкцій за один раз, що може призвести до некоректної роботи системи.

При успішному зчитуванні даних програма формує команду для ШІМ контролеру та відправляє її за допомогою інтерфейсу I2C. Алгоритм програми показаний на рис.5.9.

При створенні системи з'явилася необхідність калібрування кожного серводвигуна окремо, для програмування складних рухів роботизованої системи. Так, при піднятті однієї ноги платформи, одночасно, в правильне положення мають стати одразу 10 серводвигунів. Тому задавати кути повороту через консоль для кожного серводвигуна дуже проблематично та довго.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



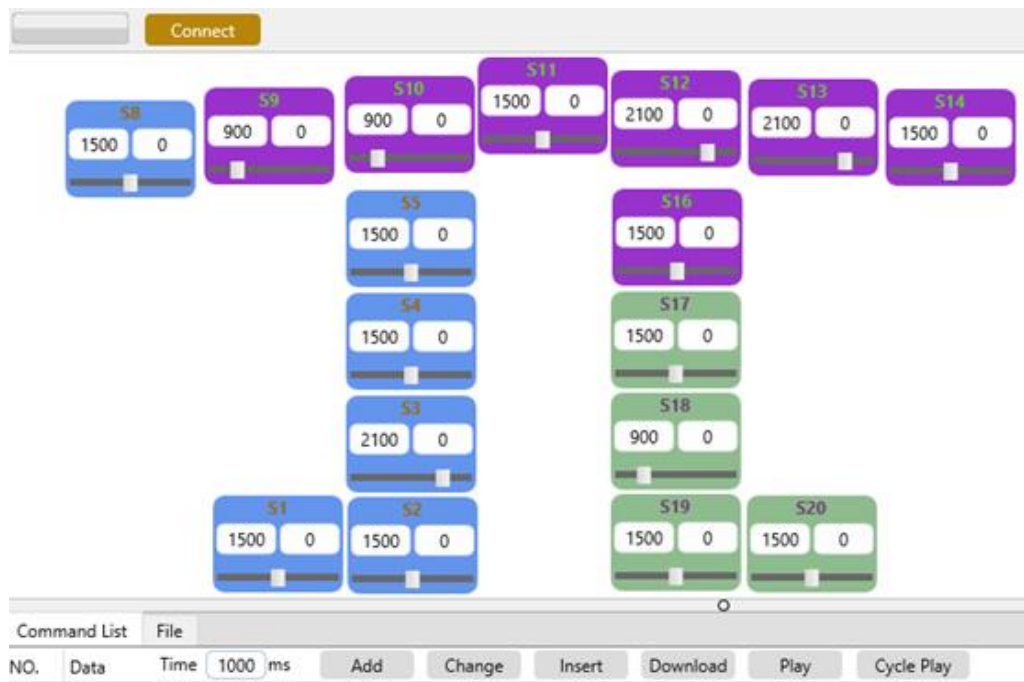


Рис. 5.10 Програма для калібрування робота

За допомогою додатку для смартфонів з ОС Android, можна підключитися до Bluetooth модулю (рис. 5.11).

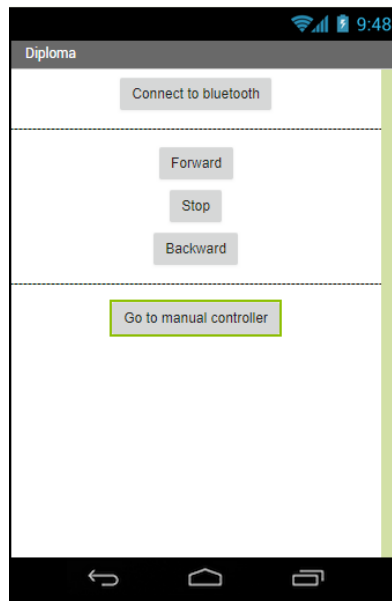


Рис 5.11 Додаток для смартфона

Далі необхідно обрати одну з трьох можливих функцій (йти вперед, йти назад, зупинитися). Також можна керувати кожним серводвигуном окремо. Команда приймається Bluetooth модулем та по UART відправляється ARDUINO. В залежності від отриманої команди, Arduino по UART передає

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

команду контролеру серводвигунів, а він в свою чергу формує незалежні одне від одного ШІМ сигнали та керує двигунами.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

За результатами дипломного проекту було спроектовано та розроблено роботизовану платформу для переміщення об'єктів. Така система може використовуватись для транспортування тяжких вантажів, допомоги воєнним на фронті та під час розмінування території. Систему також можна легко переробити в систему «розумного» будинку, або в систему керування великим навантаженням по безпроводному каналу на основі технології Bluetooth.

У розділі 1 було розглянуто переваги роботизованої праці проти людської. Досліджено розвиток роботизованих платформ в різних сферах діяльності, проаналізовано актуальність теми. Також було розглянуто роботизовані платформи трьох поколінь, від найпростішого до складного, з'ясовано що роботи саме третього покоління є найефективнішими, тому що копіюють тіло людини. Проведено аналіз систем керування роботизованих платформ та визначено оптимальний спосіб керування.

У розділі 2 було розглянуто відмінності між безпроводними технологіями. Наведено переваги Bluetooth для даної постановки задачі, а саме: простота роботи, мала енергозатратність, високий захист та мала вартість в порівнянні з технологією Wi-Fi. Також було розглянуто принцип роботи Bluetooth та процес передачі даних з керуючого пристрою безпосередньо на робота. Проведений патентний пошук за заданою темою не виявив подібних розробок, але показав актуальність роботи.

У розділі 3 було обґрунтовано підбір елементної бази для конструювання даної системи, розроблено структурну схему та схему електричну принципову, яка поділяється на декілька вузлів: схема живлення, схема контролю безпроводного прийому даних та схема програмування контролеру. Для забезпечення автономної роботи у схемі застосовуються контролери заряду та розряду акумуляторів, а також балансер напруги. Завдяки використанню конвертора USB-UART, можна програмувати усю

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

систему без використання програматора, що є великим плюсом для кінцевого користувача. Окрім цього, обрана мікросхема CP2102 не потребує встановлення спеціальних драйверів. Для контролю серводвигунами у схемі наявний ШІМ контролер, що керується інструкціями по I2C, та формує 16 ШІМ каналів, незалежних один-від-одного.

У розділі 4 були виконані наступні задачі: вибір та обґрунтування друкованої плати, вибір та обґрунтування класу точності ДП, розміщення конструктивних елементів на друкованій платі, трасування та підтверджуючі розрахунки, розробка конструкторської документації.

Для виконання друкованої плати використовуємо двухсторонній текстоліт FR-2-35-1.5, виготовлений комбінованим позитивним методом. Для конструювання був обраний 4-й клас точності, так як він забезпечує достатню щільність монтажу з урахуванням потрібних нам габаритів пристрою.

Проведені наступні розрахунки: електричний розрахунок друкованої плати, розрахунок надійності друкованої плати. Усі розрахунки підтверджують правильність конструкторських рішень. При обрахунку часу безвідмовної роботи отримали результат, що дорівнює 53700 год, що цілком задовольняє вимогам технічного завдання. Всі розрахунки підтверджують працездатність розробленої системи. На основі цього розділу розроблено друкований вузол в середовищі Altium Designer.

Розроблено алгоритм програми для мікроконтролеру та написано програму для нього у середовищі Arduino IDE. Окрім цього розроблено додаток для ОС Android, що формує команди та відправляє їх по Bluetooth спроектованій системі. Також розроблені алгоритми ходи двоногого робота по прямій та похилій площині. Провели експерименти та створили алгоритми руху верхніми та нижніми кінцівками. Розроблено алгоритми управління захвату об'єкту по вектору швидкості та положенню та алгоритм програми для мікроконтролеру. Окрім цього розроблено додаток для ОС Android, що формує команди та відправляє їх по Bluetooth спроектованій системі.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



14. Зоріна Ю. Н. Сварка в машинобудуванні // *Машинобудування*. 1979р. С. — 512.
15. Чвертко А. І. Механізація і автоматизація зварювальних процесів. // *Фізика і механіка*. 1983. С. — 92.
16. Бернадський В. Н. Промислові роботи в сучасному виробництві // *Автоматична сварка*. 2001р. С. — 37-42.
17. Спину Г.А. Промислові роботи та їх класифікація // *Автоматична сварка*. 2004р. С. — 46-49.
18. Конюх В. Л. Забезпечення роботи роботизованої складальної лінії. // *Збірка в машинобудуванні*. 2003р. С. — 24-27.
19. Абдурахманов А. І., Курбанов О. Р. Деталі й механізми роботів // *Медицина*. 2014р. С. — 208.
20. Бірюков Д. М. Інформаційні пристрої робототехнічних систем // *Робототехніка*. 2016р. С. — 300.
21. Сирямкін В. І. Інтелектуальні робототехнічні і мехатронні системи // *Робототехніка і механіка*. 2014. С. — 188.
22. Попов Є. П., Макаров І. М., Чіганов В. А. Керуючі системи промислових роботів // *Машинобудування*, 1984р. С. — 56.
23. Афонін В.Л., Макушкин В.А. Інтелектуальні робототехнічні системи // *Програмування платформ*. 2005р. С. — 208.
24. Каляєв І.А., Лохина В. М., Макаров І. М. Інтелектуальні роботи // *Машинобудування*. 2007 р. С — 360.
25. Воробйов В.А., Булгаков А. Г. Промислові роботи. Кінематика, динаміка, контроль і управління. 2007р. С. — 585.

					ДС52.522.216.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
	<u>Деталі</u>		
1	Схема електрична	1	
	<u>Кварцовий резонатор</u>		
2	HC-49S 16 MHz Texas	1	ZQ1
	<u>Конденсатори</u>		
3	0805-X7R-50-22пкФ-К Kemet	2	C4, C6
4	0805-X7R-50-0,1мкФ-К Kemet	3	C1, C8, C10
5	0805-X7R-50-0,33мкФ-К Kemet	3	C2, C5, C7
6	0805-X7R-50-4,7мкФ-К Kemet	1	C3
7	0805-X7R-50-10мкФ-К Kemet	1	C11
8	0805-X7R-50-22мкФ-К Kemet	1	C9, C12
	<u>Мікросхеми</u>		
9	LM7805 Tiger Electronic	1	DA1
10	AMS117 HKSHAN	1	DA2
11	SSF8205A Silikron	2	DD1, DD6
	Semiconductors		
12	SSF8205A Silikron		DD2, DD5
	Semiconductors		
13	S8252 Seiko Instruments	1	DD3
14	CP2102 Silicon Laboratories	1	DD4
15	PCA9685PW NXP	1	DD7
	Semiconductors		
16	Atmega328P-AU ATMEL	1	DD8
17	HC-06 MicroTech	1	DD9
	<u>Роз'єми</u>		
18	USB MINI 5PIN BF	1	XP1
19	KF-301-500-2P Kefeng	3	XP2-XP4
20	PLS1X3	16	XS1-XS16

ДС52.522.216.001 ПЕЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив		Волошин І.О.		
Перевірів		Вербицький Є.В.		
Н. Контр.		Батрак Л.М.		
Затвердив		Вербицький Є.В.		
Схема електрична принципова Перелік елементів		Літ.	Арк.	Аркушів
			1	2
КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, КПЕ, гр. ДС-52				



					<i>ДС52522.216.001 СП</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		2

## Додаток А

### Abstract

Currently, robotics is one of the leading electronics industries. We live at a time when robotic systems and platforms are part of our lives, as never before. Thanks to them became a possible work that the person could not carry out before. The systems of wireless control become increasingly important. On their basis are built not only robotic platforms, but also many other systems, such as: "smart" home, Internet things, enterprise monitoring systems and more.

Until recently, the world created robotic platforms that were aimed at performing strictly one or more functions. For the most part these were manipulators, exoskeletons or works that are fixed on the chassis and can not work autonomously. But recently mankind has started to create humanoid robots; in general, this chassis is a work done on the example of a humanoid body. This is due, first of all, to the fact that the human body is very functional and the robot with such a chassis can perform a variety of tasks.

At present, there is the problem of controlling such devices that require a current that can not be provided by the controller (DC motors, servomotors, dimmers for lighting control, etc.), and managed by a wireless channel. Typically, a PWM signal is used to interact with such systems. The problem of reading and reproducing the robots of human movements is rather acute, and it is constantly necessary to develop all new algorithms of work, because its functional is almost unlimited.

In the given work the development of a robotic platform with control over a wireless channel, with further modernization in the direction of reading and reproducing human movements is considered. Such works are widely used in factories and enterprises, in medicine, in the processes of purchase and sale, for military purposes and other areas of human activity.

The developed control module is universal, so it can be used as a basis for creating a prototype "smart" home with remote control (control of electrical appliances, obtaining statistics on the consumption of electric energy, etc.).

Purpose: to create a system that can be controlled by a robotic platform that includes 15 powerful servomotors, away from a smartphone, computer, tablet, or other "smart" device that has wireless communication channels. The robotized platform itself is a metallic design that is powered by 15 servomotors.

For the optimal solution of this problem, the existing basic methods, which are the basis of such a system, are considered.

The main disadvantages of existing solutions:

- difficulty in use;
- lack of ready-made modules on the market;
- lack of ready-made solutions for such servomotors;

Practical novelty:

The system is a separate module that can be connected by any person and simultaneously manages 16 high-capacity channels using a PWM signal.

In the study, there are difficulties with a certain functional, namely:

- getting the position of the servomotors from the moment of switching on;
- control by each servomotor separately;
- complex movements of the robotic system;
- calibration of the system.

The purpose of this thesis is to solve the problem of creating a robotic platform for moving objects.

The process of automation of production in the world as a whole developed quite unevenly. At the same time, in recent years, the general tendency to saturate this process, the automation of 50-60% of the technological equipment park and about 20% of technological operations has clearly manifested itself. This is explained by the fact that traditional automation tools are effective only in massive and continuous production, while about 80% of world production is carried out in small series from 10 to 50 products. If you estimate the time during which the automated process takes place, then this value will be even lower. In this case, the

total transport time is about 15%, while the remaining 85% of the time is due to processing, waiting and other operations.

In general, traditional automation based on the use of special means has the following limitations:

- rapid moral aging;
- long term and high cost of development of new products;
- limited possibilities for automation of operations that require flexibility during their execution (such as assembly, quality control, repair operations, etc.).

Usually, when the development of any process is suitable for saturation, new ideas appear that give a new impetus to the further development of automation. Such opportunities in automation of production to overcome the existing restrictions provides flexible automated production. The ideal production, which can be obtained as a result of flexible automation, can be briefly described as follows:

- automatic production of products in any way in small batches;
- cost and productivity are close to the values achieved in today's mass production;
- practically deserted production - the number of employees in comparison with usual production is less than two orders of magnitude;
- complex automation of all parts of production, including technological processes, preparation of production, development of design documentation for manufactured products, planning and management of production in general.

Thus, we can say that with the full implementation of flexible automatic production, new solutions for advanced products should be developed. At the same time, the whole process should take place around the clock and be carried out on the basis of machine information carriers.

Modern industrial work in most cases is used to replace manual labor. So, the robot can use the tool grip to fix the tool and perform part processing or keep it a

workpiece in order to submit it to the working area for further processing. The robot has a number of limitations, such as the range of reach, load carrying capacity, the need to avoid collision with the obstacle, the need for the previous programming of each movement. But with its correct application and preliminary analysis of the work of the system, the robot is able to provide a number of advantages, high quality and efficiency of the work process. To assess the relevance of the implementation of the robot in a variety of processes at work, we give a number of advantages and disadvantages of the use of robotics at the enterprise.

**Productivity.** When you apply a robot, performance usually increases. First of all, this is due to faster moving and positioning in the process of processing, also plays a role and such a factor as the ability to automatically work 24 hours a day without interruptions and downtime. In the case of a properly selected application of a robotic system, productivity in comparison with manual production increases at times or even by an order of magnitude. It should be noted that with a wide range of products, constant changes in coding algorithms, the need for a large number of peripheral equipment for different parts, performance can decrease, making the process ineffective and complex.

**Improvement of economic indicators.** Replacing a person, the robot effectively reduces the cost of paying specialists. Especially this factor is important in economically developed countries with high wages of workers and the need for processing allowances, night time, etc. In the case of the use of a robot or an automated system, only the presence of the operator of the control process is necessary in the workshop, while the operator can control several systems at once.

In the initial purchase of a robotic system - a rather serious financial investment, and the company is interested in its rapid payback. Improper application of equipment and errors in its configuration and placement can lead to increased processing time or labor time, thereby reducing the cost-effectiveness of production.

**Quality of processing.** Often, the reason for the introduction of a technological system based on an industrial robot is the need to provide the product specified in the product documentation quality processing. The high accuracy of the positioning

of industrial robots (0.1-0.05 mm) and the repeatability ensure the proper quality of the product and eliminate the probability of a lack of production details. The exclusion of a human factor leads to a minimization of work errors and the maintenance of constant repeatability throughout the production program.

**Security.** The application of the work is quite effective in harmful production, which negatively affects the human body. First of all, in the foundry industry, in the cleaning of welding seams, painting works, welding processes, in the movement of heavy, explosive and harmful goods, etc. In cases where the use of manual labor is limited by the legislation of the implementation of the robot may be the only solution. When working in a shop, the perimeter of the working area is protected by various devices to prevent human penetration into the work area. The presence of security systems is a major and indispensable condition for the safe operation of robotic systems around the world.

**Minimize work space.** A properly equipped platform based on an industrial robot is more compact than a work area for manual work. This is achieved by a more ergonomic design of assembly machines, a small size of the space occupied by the robot, the possibility of its placement in a suspended state, and so on.

**Minimum service.** Modern industrial work, thanks to the use of asynchronous motors and quality reducers, practically does not require maintenance. Special models of robots made of stainless steel are made, for example, for work in the medical and food industry, at high and low temperatures, in aggressive environments. This makes them less susceptible to the environment and increases the wear resistance of the equipment.

The advantages of industrial robots - the flexibility of use and the ability to use in virtually unlimited number of processes. For example, in the aviation industry, in order to improve the quality of products, they begin to use machines in the process of riveting, fuselage sheeting, calculations of composite materials, at various works in a limited space. The use of robots for transportation and moving objects is actively distributed. In the United States and Europe, work is used in cleaning chambers under high pressure products.