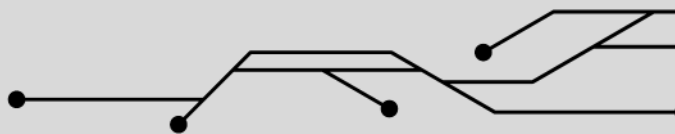


НЕВЛЮДОВ І.Ш., ЄВСЄЄВ В.В., МАКСИМОВА С.С.

ВЕАМ

РОБОТОТЕХНІКА

[Навчальний посібник]



Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР)

Харківський національний університет радіоелектроніки
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та
робототехніки (КІТАР)

Невлюдов І.Ш., Євсєєв В.В., Максимова С.С.

ВЕАМ робототехніка

[Навчальний посібник]

Видавець Чернявський Д.О.
м. Кривий Ріг
2024

УДК 621.396.6:658.51

Н40

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри «Інформаційних управляючих систем»
Харківського національного університету радіоелектроніки

ЛЕВИКІН ВІКТОР МАКАРОВИЧ

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри «Конструкції повітряних суден, авіадвигунів та
підтримання льотної придатності»

Льотна академія Національного авіаційного університету

ОСАДЧИЙ СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ

Невлюдов І.Ш., Євсєєв В.В., Максимова С.С.

BEAM робототехніка: Навчальний посібник. – Oktan Print – Prague.:
2024.- 276 с. з мал..

ISBN 978-617-8045-79-1

Навчальний посібник "BEAM робототехніка" є цікавим і багатограним доробком в галузі робототехніки та електроніки. Він поєднує біологічні, естетичні та механічні аспекти, а також філософію та закони, що керують створенням та функціонуванням роботів.

Перший розділ книги присвячений основам BEAM робототехніки та включає історичний огляд розвитку цієї методології, а також розгляд філософії BEAM та її трьох законів. Він також охоплює теми нейронів Nv та Nu Тілдена та їх застосування, а також концепцію мікроядра у робототехніці. Додатково цей розділ проводить порівняльний аналіз між класичними мобільними роботами та роботами, створеними з використанням методології BEAM.

Другий розділ стосується структурної та апаратної оснащеності BEAM роботів. Він починається з розгляду структурної схеми мобільного робототехнічного комплексу із трирівневою системою управління. Потім увага приділяється апаратному забезпеченню BEAM роботів, класифікації датчиків та модулів, а також автономним модулям живлення та логічним елементам у BEAM робототехніці.

Третій розділ присвячений схемі технічної реалізації систем управління BEAM роботів. Він охоплює такі теми, як реалізація сенсорної системи, схеми руху по лінії, підключення електромоторів та підсилювачів сигналу від датчиків. Тут також розглядаються схеми на основі мікроконтролера ATmega8 для BEAM роботів та їх поведінка при обході перешкод.

Четвертий розділ книги порушує питання розробки BEAM роботів на базі мікроконтролерів сімейства ATmega, виділяючи їх переваги в цій галузі та надаючи інформацію про розробку програми управління мобільними роботами на базі Arduino Nano.

П'ятий розділ представляє метод моделювання електричних схем BEAM роботів із використанням середовища Tinkercad Circuits. Він включає введення в Tinkercad Circuits і моделювання роботи різних компонентів, таких як датчик HC-SR04, драйвер двигуна L298D і серводвигун 6CH RC SG90.

Навчальний посібник призначений для студентів закладів вищого освіти в галузі знань 17 - Електроніка, автоматизація та електронні комунікації за спеціальністю 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка та освітньо-професійних програм: «Системна інженерія», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи».

УДК 621.396.6:658.51

ISBN 978-617-8045-79-1

© І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв, С.С. Максимова.
© Харківський національний
університет радіоелектроніки, 2024

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів .	5
Вступ	9
1. Основи BEAM робототехніки.....	11
1.1 Історія створення BEAM (Biology, Electronics, Aesthetics, Mechanics) робототехніки	11
1.2 BEAM-філософія та три закони робототехніки	14
1.3. N_v і N_u нейрони Тілдена та приклад їх реалізації	18
1.4. Концепція мікроядра	27
1.5 Класифікація та порівняльний аналіз класичних мобільних роботів та BEAM	29
1.5 Питання до I розділу	34
2. Структурне та апаратне забезпечення BEAM роботів	37
2.1 Структурна схема мобільного робототехнічного комплексу із трирівневою системою управління	37
2.2 Апаратне забезпечення BEAM роботів	42
2.3 Класифікація датчиків для BEAM роботів	70
2.4 Модулі для BEAM роботів	103
2.5 Автономні модулі живлення для BEAM роботів	125
2.6 Логічні елементи в BEAM робототехніки	139
2.7. Питання до II розділу	147
3 Схемотехнічна реалізація систем управління BEAM роботів.....	151
3.1 Реалізація найпростішої сенсорної системи для BEAM робота	151
3.2 Схема руху по лінії на базі логічної мікросхеми L293D	154
3.3 Схеми підключення електромоторів до L293D	165
3.4 Схема підсилювача сигналу від датчика на базі L293D	168
3.5 Схема BEAM робота на базі ATmega8	169
3.6 Схема BEAM робота, що долає перешкоди без використання датчиків	171

3.7 Схеми BEAM роботи, що обіжає перешкоди при контакті з ними.....	175
3.8 Схеми BEAM роботи, що обходить перешкоди з використанням датчика TSOP1136	177
3.9 Питання до III розділу	180
4. Розробка BEAM роботів на базі мікроконтролерів сімейства ATmega	184
4.1. Переваги застосування плат на основі мікроконтролера сімейства ATmega при розробці мобільних роботів	184
4.2. Розробка мобільного робота на базі мікроконтролера сімейства ATmega	196
4.3. Розробка програми управління мобільним роботом на базі Arduino Nano	217
4.4 Питання до IV розділу	230
5. Моделювання електричних схем BEAM роботів у середовищі Tinkercad	232
5.1 Введення в Tinkercad Circuits	232
5.2 Моделювання роботи датчика HC-SR04	236
5.3 Моделювання роботи драйвера двигуна L298D	244
5.4 Моделювання роботи серводвигуна 6CH RC SG90	251
5.5 Питання до V розділу	258
Висновки	260
Список літератури	261

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- SBC - (Single-Board Computer) одноплатні комп'ютери в ультра-маленькому форм-факторі.
- PoE - (Power over Ethernet) технологія, що дозволяє передавати до віддаленого пристрою електричну енергію разом з даними через стандартну виту пару в мережі Ethernet.
- USB - (Universal Serial Bus) послідовний інтерфейс для підключення периферійних пристроїв до обчислювальної техніки.
- GPIO - (General-Purpose Input/Output) інтерфейс для зв'язку між компонентами комп'ютерної системи, наприклад мікропроцесором і різними периферійними пристроями. Контакти GPIO можуть виступати як в ролі входу, так і в ролі виходу (це, як правило, конфігурується). GPIO контакти часто групуються в порти.
- MicroUSB - мініатюрні роз'єми для застосування USB в переносних і мобільних пристроях.
- HDMI - (High Definition Multimedia Interface) інтерфейс для мультимедіа високої чіткості, дозволяє передавати цифрові відеодані високої роздільної здатності та багатоканальні цифрові аудіосигнали із захистом від копіювання.
- CSI - інтерфейс для CSI камери;
- DSI - конектор для LCD дисплею;
- PXE - (Preboot eXecution Environment) завантаження ОС через мережевий інтерфейс використання локальних носіїв даних;

- ZigBee - специфікація мережевих протоколів регламентованих стандартом IEEE 802.15.4. ZigBee і IEEE 802.15.4 описують бездротові персональні обчислювальні мережі (WPAN).
- GPS - (Global Positioning System) супутникова система навігації, яка забезпечує вимірювання відстані, часу та визначає місце розташування у всесвітній системі координат WGS 84
- GSM - (Global System for Mobile Communications) глобальний стандарт цифрового мобільного стільникового зв'язку з розділенням каналів за часом (TDMA) і частоті (FDMA).
- ШІМ (PWM) - (Pulse-Width Modulation) процес управління потужністю методом пульсуючого ввімкнення і вимкнення приладу. Розрізняють аналогову ШІМ і цифрову ШІМ, двійкову (дворівневу) ШІМ і трійкову (трирівневу) ШІМ
- SPI - (Serial Peripheral Interface) послідовний синхронний стандарт передачі даних в режимі повного дуплексу, призначений для забезпечення простого і недорогого високошвидкісного сполучення мікроконтролерів і периферії.
- SD - (Secure Digital Memory Card) формат карт пам'яті (флеш-пам'ять), розроблений SD Association (SDA) для використання в портативних пристроях
- TFT - (Thin-Film Transisto) рідкокристалічний дисплей з активною матрицею
- I²C - (Inter-Integrated Circuit) послідовна асиметрична шина для зв'язку між інтегральними схемами всередині електронних приладів

- SSH - (Secure Shell) мережевий протокол прикладного рівня, що дозволяє виконувати віддалене управління операційною системою і тунелювання TCP-з'єднань
- SDRAM - (Synchronous Dynamic Random Access Memory) тип пристрою, що запам'ятовує та використовується в комп'ютері і інших цифрових пристроях як ОЗУ
- DDR3 - (Double-Data-Rate Three synchronous dynamic random access memory) тип оперативної пам'яті, що використовується в обчислювальній техніці в якості оперативної і відеопам'яті
- IoT - (Internet of Things) концепція обчислювальної мережі фізичних предметів, оснащених вбудованими технологіями для взаємодії один з одним або з зовнішнім середовищем, яка розглядає організацію таких мереж як явище, здатне перебудувати економічні та суспільні процеси, що виключає з частини дій і операцій необхідність участі людини.
- LPDDR3 - стандарт JESD209-3 «Low Power Memory Device Standard» пропонується більш висока швидкість обміну даними, збільшена енергоефективність і велика щільність пам'яті.
- CPU - (Central Processing Unit) інтегральна схема (мікропроцесор), що виконує машинні інструкції (код програм), головна частина апаратного забезпечення комп'ютера або програмованого логічного контролера.
- GPU - (Graphics Processing Unit) інтегральна схема (мікропроцесор), для обробки і вирішення графічних завдань.
- FPS - (Frames Per Second) кількість кадрів в секунду на екрані монітора

- eMMC - (embedded Multimedia Memory Card) це одночіповий накопичувач, найчастіше вживаний в компактних пристроях.
- DSI - (Display Interface Specifications) специфікація, що визначає послідовну шину і протокол зв'язку між хостом (джерело зображення) і пристроєм (одержувачем зображення).
- DHCP - (Dynamic Host Configuration Protocol) протокол динамічного налаштування вузла, що використовується для автоматичного динамічного присвоєння IP-адрес пристроїв мережі.
- КЗ - Комп'ютерний Зір
- SMB/CIFS - (Server Message Block) мережевий протокол прикладного рівня для віддаленого доступу до файлів, принтерів та інших ресурси мережі, а також для взаємодії між процесами.
- RPi - Raspberry Pi
- ПО - Програмне Забезпечення

ВСТУП

Сучасний світ робототехніки є джерелом нескінченних інновацій та неймовірних можливостей. І, безсумнівно, однією з найцікавіших галузей цього великого світу є BEAM робототехніка. BEAM, або Biology, Electronics, Aesthetics, Mechanics, відкриває перед нами безмежний потенціал розуміння та моделювання живої природи за допомогою електронних систем та механічних конструкцій.

Цей навчальний посібник – це віконце в світ BEAM робототехніки, де кожна сторінка відкриває нові горизонти можливостей та інновацій. Ви дізнаєтеся про історію створення BEAM, її філософію та тривіальні закони, які лежать в її основі. Розглянемо концепцію мікроядра, нейрони Nv (нейро-вакуум) і Nu (нейро-перемикач), а також порівняємо BEAM робототехніку з класичними мобільними роботами.

Але цей навчальний посібник – це не просто теорія, це практика. Ви дізнаєтеся про апаратне забезпечення та структурну схему BEAM роботів, розглянете різні датчики та модулі, які використовуються в цій технології. Ми детально розглянемо схематехнічну реалізацію систем управління BEAM роботами, включаючи логіку руху, сенсорні системи та способи подолання перешкод.

Навчальний посібник також розкриє перед вами можливості розробки BEAM роботів з використанням мікроконтролерів сімейства ATmega і навіть допоможе створити програмне забезпечення для керування такими роботами на базі Arduino Nano.

Моделювання електричних схем в сучасному світі стало надзвичайно важливим етапом розробки, і ми розглянемо як виконувати це в середовищі Tinkercad Circuits.

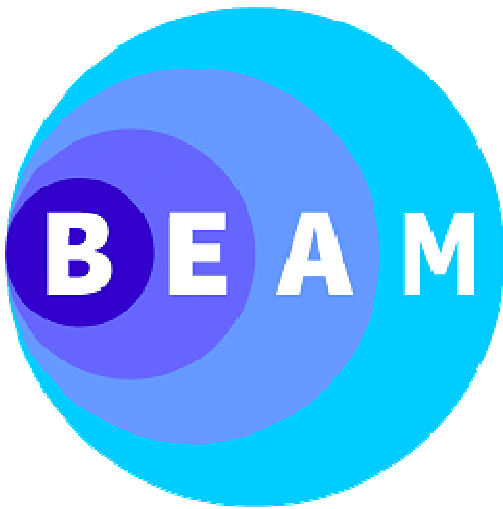
Закінчуючи, ми сподіваємося, що цей навчальний посібник допоможе вам зануритися в світ BEAM робототехніки, відкривши нові можливості для ваших інженерних і творчих проектів. Разом ми відкриємо безмежний світ

можливостей, який пропонує ВЕАМ, і рушимо в неймовірну подорож в майбутнє робототехніки.

Навчальний посібник призначений для студентів закладів вищого освіти в галузі знань 17 - Електроніка, автоматизація та електронні комунікації за спеціальністю 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка та освітньо-професійних програм: «Системна інженерія», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва».

1. ОСНОВИ BEAM РОБОТОТЕХНІКИ

1.1 Історія створення BEAM (Biology, Electronics, Aesthetics, Mechanics) робототехніки



BEAM-роботи – це дивовижний світ із власною неповторною естетикою. BEAM-робототехніка дозволяє створювати простих та спритних BEAM-роботів, наділених унікальною поведінкою, з доступних та поширених компонентів без необхідності складного програмування.

BEAM робототехніка (Biology, Electronics, Aesthetics, Mechanics) – це підхід до створення мінімалістичних роботів, який поєднує біологічний інспіраційний підхід з електронікою, механікою та естетикою. У 1960-х і 70-х роках майже всім здавалося, що створення мислячих та виконавчих роботів – справа найближчого майбутнього. Університети та науково-дослідні інститути невтомно створювали лабораторії робототехніки та штучного інтелекту [1]. Але невдовзі дослідники зрозуміли, що навіть найпростіші фізичні дії, такі як взяти зі столу кухоль, відчувати перешкоду у просторі, спланувати маршрут і переміститися ним, виявилися для роботів дуже складними завданнями.

Деякі дослідники і розробники роботів намагалися боротися з проблемами, що виникли, шляхом модифікації алгоритмів і нарощування потужності апаратної частини, яка відповідає за обчислення і виконання все більш і більше ускладнюються алгоритмів. Але один із найвідоміших дослідників у галузі робототехніки Родні Брукс (Rodney Brooks) з Massachusetts Institute of Technology (MIT) запропонував радикально інший підхід. Натхненний комахами та іншими істотами з маленьким мозком, він

запитав: як може виглядати архітектура робота, що базує свої дії не на побудові складної внутрішньої моделі навколишнього середовища, а будує свою поведінку як безпосередню реакцію на зовнішні подразники, що виникають [2-6].

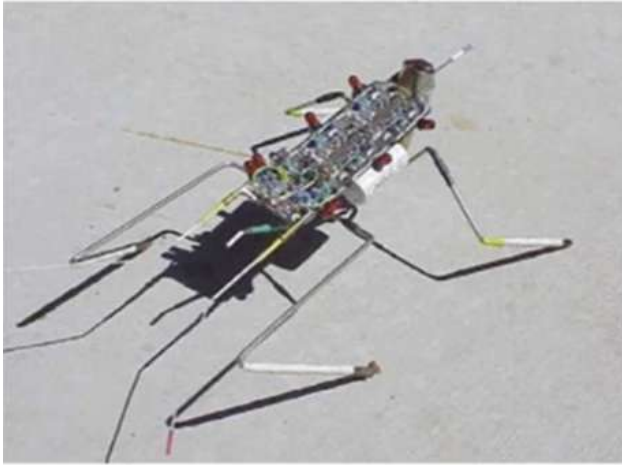
Результати виявилися вражаючими: комахоподібні типи роботів могли зробити майже все, на що були здатні роботи, що створюють внутрішню модель. При цьому вони мали набагато менші обчислювальні потужності. Багато робототехніки були надихнуті роботою Брукса. Але виявились і такі, хто вирішив піти ще далі. Одним із них був Марк Тілден (Mark Tilden) – один із засновників BEAM робототехніки.[7].

Присутній на одній з лекцій доктора Frederick Phillips Brooks наприкінці 80-х в Університеті Ватерлоо, Тілден поцікавився: наскільки Brooks допускає можливість спрощення роботів настільки, що вони взагалі не будуть використовувати цифрові обчислення. Як згадує сам Марк Тілден у своєму листі: "Доктор Брукс відповів, що він упевнений у тому, що складність необхідна для існування достатньої компетенції у поведінці машини". "Я мав докази іншої точки зору, але не наполягав", - пише Тілден.

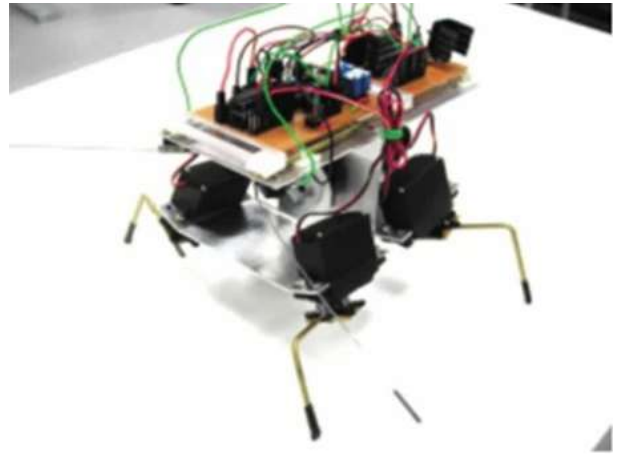
У результаті Марк Тілден поставив собі запитання: "Чи існують мінімалістичні, елегантні, ефективні, малобюджетні рішення для управління автономним роботом?" Відповіддю це питання стала поява BEAM-робототехніки. Марк Тілден популяризував свої ідеї та сформував цілу культуру у створенні роботів, назавжди змінивши світ робототехніки. [8]

Наведемо приклад класичних роботів створених на базі BEAM-робототехніки, які показані на рисунку 1.

BEAM-робототехніка спирається на чотири основи, які укладені в аббревіатурі В.Е.А.М. та визначають підхід до проектування BEAM-роботів. Ці основи – Biology (Біологія), Electronics (Електроніка), Aesthetics (Естетика), Mechanics (Механіка). [9]



а)



б)

а) BEAM robot with an insect-like shape (Rietman et al., 2003) [];

б) BEAM robot, called QUL 1.4 (Vadakkepatt et al., 2012) [].

Рисунок 1.1 - BEAM-роботи створені Mark Tilden.

Розглянемо кожен підхід та його вплив на філософію BEAM-робототехніки [10-12]:

- **BEAM-роботи та БІОЛОГІЯ.** Як і інші науки та технології в наші дні, BEAM розглядає природу як нескінченне джерело натхнення. Мільярди років проектування, виробництва та польових випробувань біологічних об'єктів змушують поглянути на них з усією серйозністю та захопленням. Однією з особливостей BEAM-культури є заохочення ролі розробника у роботі еволюції: кожен може відчути себе інженером;

- **BEAM-роботи та ЕЛЕКТРОНІКА.** Одна з рис BEAM-технології - використання електронних компонентів абсолютно хакерськими способами. У цьому BEAM-культура безпосередньо пов'язана з кіберпанком. Чіпи, призначені для підсилення звуків, обробки сигналів тощо, підключаються по-новому, щоб керувати двигунами, обслуговувати датчики та ставати основою таймерів та нейронних ланцюгів.

- **BEAM-роботи та ЕСТЕТИКА.** Бакмінстер Фуллер колись сказав: "Коли я працюю над проблемою, я ніколи не думаю про красу. Я думаю тільки про те, як вирішити проблему. Але коли я закінчив, якщо рішення не є

красивим, я знаю, що воно неправильне". Марк Тілден та його колеги – розробники BEAM-роботів – завжди підкреслювали, що елегантність у дизайні робота служить еволюційній меті: елегантна конструкція надихає інших розробників, що часто сприяє реплікації та покращенню конструкції робота. Крім того, те, що зроблено красиво, працює краще.

- **BEAM-роботи та МЕХАНІКА.** Механіка використовує той самий підхід, який використовується для розробки електронної частини. Часто одне хитре механічне рішення в дизайні робота може скоротити купу електроніки та зробити робота більш простим та ефективним. Багато BEAM-роботів використовують вільно сформовані схеми, в яких компоненти спаяні безпосередньо один з одним, а не на друкованій платі. Це дозволяє знизити вартість та вагу робота, а також демонструє технічну майстерність будівельника.

1.2 BEAM-філософія та три закони робототехніки

В оповіданні "Хоровод", випущеному в рамках циклу фантастичних творів "Я, робот" в 1942 році Айзек Азімов для свого вигаданого світу створив зведення правил, яким повинен був дотримуватися кожен робот при взаємодії з людиною - закони робототехніки.[13] Незважаючи на свою фантазійну природу, багато хто і сьогодні схиляється до того, що ці обмеження можна було б використовувати і в реальному житті, поширюючи їх на мислячі роботизовані механізми.

Три закони робототехніки формулюються у наступний спосіб [14-16]:

- робот не повинен завдавати будь-якої шкоди людському здоров'ю, створювати загрозу життю або своєю бездіяльністю допускати аналогічні наслідки;

- роботу обов'язково виконувати накази, що віддаються людиною. Єдиний виняток – наказ, що віддається, не повинен суперечити попередньому положенню;

- роботу ставиться в обов'язок про власну безпеку в тій мірі і в тому обсязі, в яких його дії не спростовують два попередні пункти.

Вище перелічені закони робототехніки Азімова в оповіданнях впроваджувалися у ПЗ і надійно захищені від перегляду і переписування. Хоча недосконалість даного формулювання стало явним практично відразу – лазівки, неточності та неясності досить часто призводили до нелогічної та неправильної поведінки роботів. Цьому сприяла ціла низка причин, серед яких неточне, розпливчате формулювання та складність у знаходженні відмінностей між "людьми" та "роботами". Однак найпоширенішою обставиною, через яку порушувалися 3 закони робототехніки, були несвідомі дії машин та спроби надмірно спритних роботів та штучного інтелекту перепрограмувати власне ядро.

Незважаючи на свою історію тривалістю багато десятків років, ця тематика залишається актуальною і до сьогодні. Багато чого з того, що ще кілька десятків років тому було немислимим, стає потенційно чи навіть явно можливим. До речі, світ, описаний Айзеком Азімовим, з деякими застереженнями нагадує сьогоденній. При цьому, згідно заяв творця, написані закони робототехніки цілком могли б бути застосовані і в реальному житті. В інтерв'ю журналу Compute! 1981 року він зазначав: "Коли в мене запитували, чи можливе використання цих законів насправді, відповідь була зрозуміла заздалегідь. Однак для цього потрібно, щоб роботи були належним чином різнобічними та універсальними, щоб бути здатними на різні схеми поведінки" [17].

На жаль, оптимізм всесвітньо відомого фантаста багато вчених не поділяють. Так, три закони робототехніки ретельно вивчали та аналізували два теоретики II: Бен Герцель (Аїдія Холдінгс) та Луї Хельм (Інститут MIRI). І вони абсолютно впевнені, що положення, напевно, не подужають дорученої місії. Згідно з їхньою доповіддю, Айзека Азімова закони робототехніки мають три ключові недоліки:

- мають змагальну сутність;

- базуються на неактуальній сьогодні етичній теорії (деонтології);
- дивно, але й у всесвіті фантаста роботи не здатні належно реалізовувати власне призначення.

Незважаючи на всі свої вади, закони робототехніки Азімова стали першою чесною спробою охопити величезну технологічну сферу, започаткувавши довгий шлях пошуків і досліджень. Наприклад, нещодавно Google опублікував своє бачення безпечного штучного інтелекту, сформулювавши свої п'ять законів робототехнічних механізмів.

Філософія BEAM-робототехніки визначається набором заповідей, кожна з яких не є незаперечним законом, але формує загальну філософську концепцію проектування BEAM-роботів, до якої також входять свої власні три закони робототехніки [18-20].

Для того, щоб жити в реальному чи, як називає його Марк Тілден, "дикому" світі ідеальний BEAM-робот має дотримуватись трьох законів робототехніки. Ці закони відрізняються від трьох законів робототехніки фантаста Азімова (захищати людей, підкорятися людям і піклуватися про себе). Закони Тілдена для BEAM-роботів виглядають так:

- - робот повинен захищати своє існування всіма можливими способами від будь-якої небезпеки;
- - робот повинен отримати та зберегти доступ до джерела енергії;
- - робот повинен постійно шукати найкращі джерела енергії.

Вищеперелічені підходи далеко не є незаперечними, що і забезпечує широке розмаїття напрямків розробки BEAM-конструкцій, таких як створення естетичних роботів, крокуючих роботів, пристроїв для створення світлових ефектів, літаючих, повзаючих, плаваючих, підтримуючи невичерпний інтерес до цього напрямку.

Внаслідок чого концепція філософій BEAM-роботів побудована на наступних принципах:

- **K.I.S.S. (Keep It Simple, Stupid)**. Розробка BEAM-робота повинна вестися виходячи з принципу розумного мінімалізму для того, щоб запобігти

ускладненню конструкції, що росте як снігова куля. «Не ускладнюй, тупиця» або більш чемний варіант англ. keep it short and simple - "роби коротко і просто". Простота BEAM-роботів використовується для досягнення ефективного результату мінімалістичними засобами. Мінімальне використання цифрової обробки на користь простих аналогових рішень часто спрощує конструкцію та робить її більш оптимальною. При цьому BEAM-робот нерідко демонструє більш осмислену та гнучку поведінку, ніж його повністю цифровий побратим. У BEAM-робототехніці ефективна простота інженерної розробки заповідається як одна з основних цінностей конструкції.

- *Junkbots або роботи з електронного мотлоху.* Досконалий BEAM-робот – це мініатюрне, просте та красиве створення. Але це не повинно відвернути від використання недорогих або повторно використовуваних компонентів. За словами Тілдена: "Всі частини, які потрібні для створення робота, можна знайти в розбитій електроніці".

BEAM-ентузіаста використовують мікроконтролери та інші високоякісні компоненти, але тільки в тому випадку, якщо більш дешеві та прості рішення не є можливими. Наприклад, Vbug v.1.5, один із ранніх BEAM-роботів Марка Тілдена, був зроблений з кількох дешевих аналогових чіпів, частин, витягнутих з пари старих касетних плеєрів, таймера з пічки та кількох дротів.

- *Моя безліч дешевих безглузвих роботів краще, ніж твій єдиний дорогий розумний робот.* У BEAM-філософії знайшла своє втілення одна з найкращих ідей Родні Брукса. Купа працюючих простих і дешевих роботів краще, ніж один дорогий розумний робот, що зламався. BEAM-робототехніки уявляють собі майбутнє, в якому рої дешевих і простих роботів могли б робити такі речі, як чищення хмарочосів, збирання токсичних відходів, і навіть прибирання вашого будинку. Якщо деякі з безлічі роботів раптом зламуються або в них вичерпаються джерела енергії, то нічого страшного не станеться, інші роботи продовжать виконання роботи. Але якщо раптом у єдиного дорогого супер-робота зламається якийсь вузол і

він у результаті вийде з ладу, то це буде великою проблемою: покладена на нього робота не буде виконана.

- Реальні роботи дорожать своїм життям та енергією. Щоразу, коли це можливо, ВЕАМ-розробники намагаються створювати ВЕАМ-роботів, які могли б подбати про себе самі. Існує безліч старих конструкцій ВЕАМ-роботів, що працюють на енергії, що отримується від сонячних батарей, але в силу їх досить високої вартості та малої ефективності, також існує безліч сучасних рішень, що працюють на енергії батарей. У разі використання останніх завдання геніального інженера – максимізувати ефективність їх використання. Адже коли енергія в батареях закінчиться, настане маленька смерть ВЕАМ-робота.

1.3. N_v и N_u нейрони Тілдена

Класичні ВЕАМ-роботи зазвичай не використовують мікропроцесори або мікроконтролери у своєму пристрої. Їхня нервова система і мозок будуються на основі нейронних мереж. Досить часто нейронні мережі ВЕАМ-роботів являють собою композицію всього з декількох нейронів, яка складається з меншого числа транзисторів ніж звичайний радіоприймач. Наприклад, комахоподібний ВЕАМ-робот, що ходить, може повністю керуватися і контролюватись всього 12 стандартними транзисторними логічними елементами..

Нервова система ВЕАМ-роботів будується за принципом використання численних простих поведінкових реакцій, що є безпосередньо сенсорними системами. Ця філософія розробки найбільш наочно представлена в класичній книзі Брайтенберга "Машини: експерименти із синтетичною психологією" [21]. Через серію продуманих експериментів ця книга розглядає розробку складних поведінки робота, заснованих на простих реакціях, викликаних сенсорами.

При створенні електронної частини ВЕАМ-роботів використовуються ТТЛ- та КМОП-мікросхеми. [22] Останні найкращі, оскільки вони працюють при напрузі близько 3 В і мінімальних струмах, що є запорукою ефективного витрачання запасів енергії. Крім того, це може бути особливо важливим при використанні сонячних батарей..

Моделі нейронних мереж роблять на основі осциляторів, побудованих з моностабільних генераторів негативного імпульсу (Nv-нейронів Тілден). Їх збирають з інверторів з послідовно підключеними конденсаторами і резисторами. Осцилятори визначають послідовність рухів чи дій робота. Найпростіший осцилятор зазвичай складається з двох логічних елементів НЕ, двох конденсаторів та двох резисторів. Приклад найпростішої нейронної мережі Марка Тілдена (Vicare) представлено на рис. 1.2 [23]

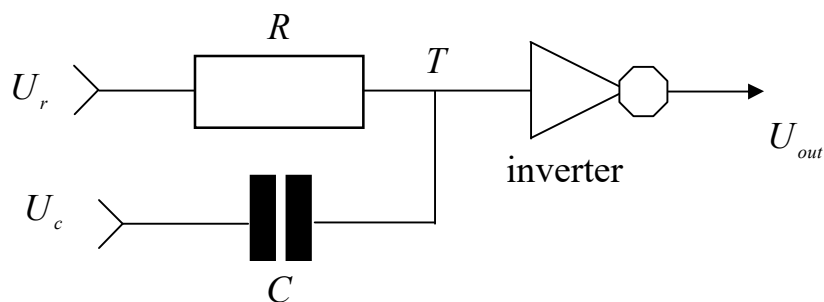


Рисунок 1.2 - ВЕАМ нейрон [23]

У своїй найпростішій формі ВЕАМ нейрон є ланцюгом затримки імпульсу і складається з резистора, конденсатора та інвертора (прилад, в якому високий рівень входної напруги перетворюється на низький, і навпаки). ВЕАМ нейрон змінює стан вихідної напруги на протилежний входному, залежно від величини сигналів U_c та U_r .

Затримка у зміні стану U_{out} залежить від часу очікування T (тобто тривалості вихідних імпульсів), значення якого залежить від опору резистора, ємності конденсатора та порога інвертора. Ця система чутлива до

перешкод на вході інвертора та коливань напруги живлення, що впливає на T . Це описується наступним рівнянням:

$$T = RC \log_b (1 / ((U_{th} - U_{min}) / (U_{max} - U_{min})))$$

де: T - час затримки сигналу або тайм-аут (тривалість вихідних імпульсів), [с];

R - опір, [Мом];

C - ємність, [мФ];

U_{max} - максимальна напруга, [В];

U_{min} - мінімальна напруга, [В];

Також, можна використовувати більш просту формулу:

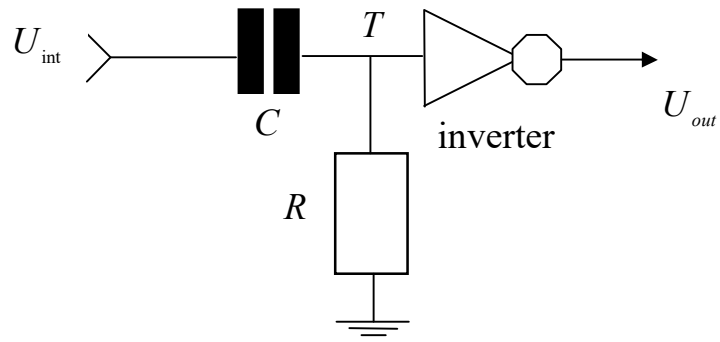
$$T = RC$$

Марк Тілден запропонував два типи Nv-нейронів [25]:

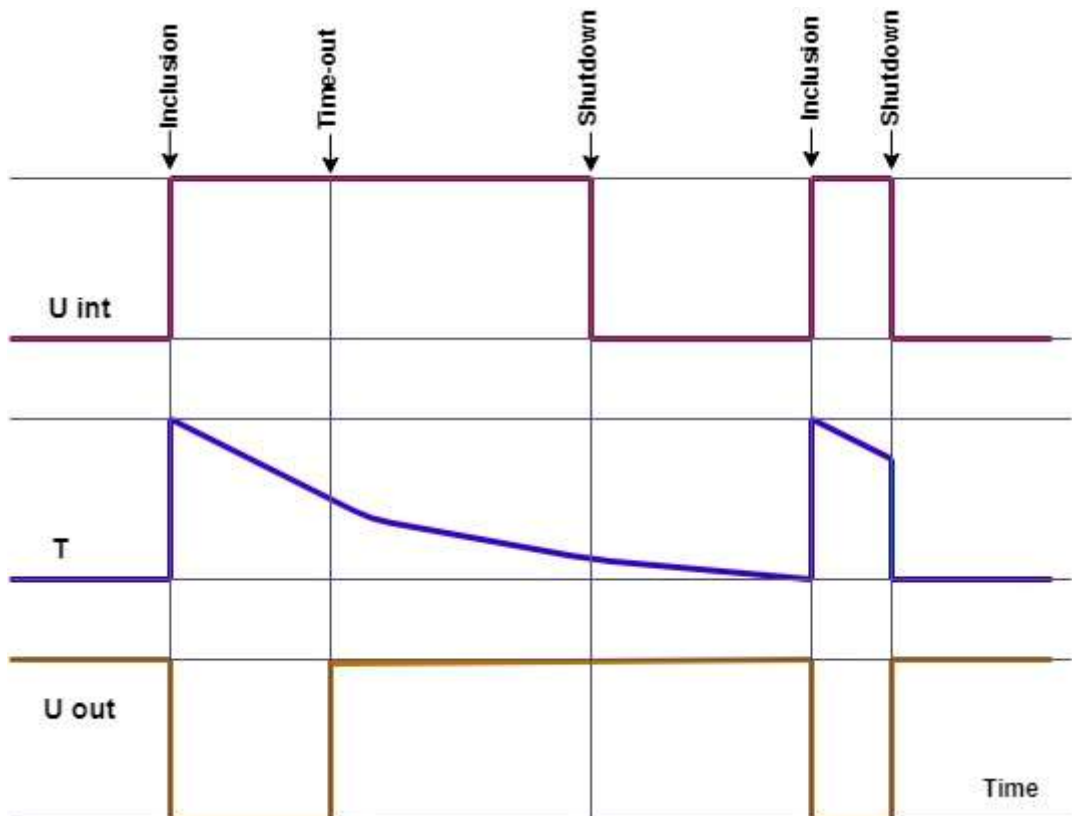
- Nv нейрон («збуджуючий», М. Тільден назвав його «нерв»), використовується для керування двигунами, може конструюватися за схемою Nv+ и Nv -;

- Nu нейрон («гальмуючий»), що використовується для обробки сигналів від датчиків, може конструюватися за схемою Nu+ и Nu - .

Розглянемо принцип роботи Nv - нейронів «збуджуючий» Тілдена (рис.1.3а), та його конфігурацію сигналу в часі (рис. 1.3б), приклад Nv - нейрона представлений на рисунку 1.3



a)

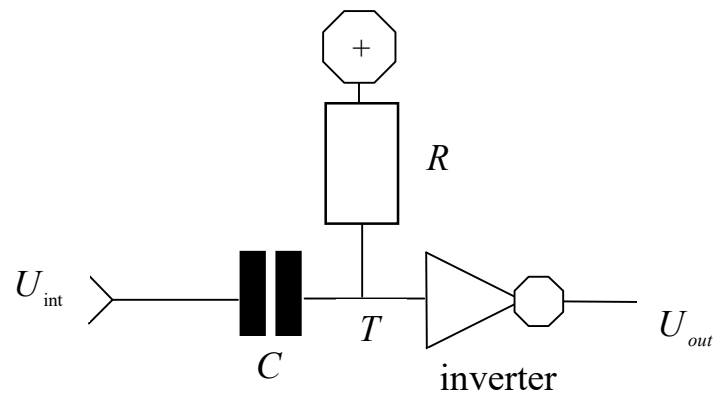


б)

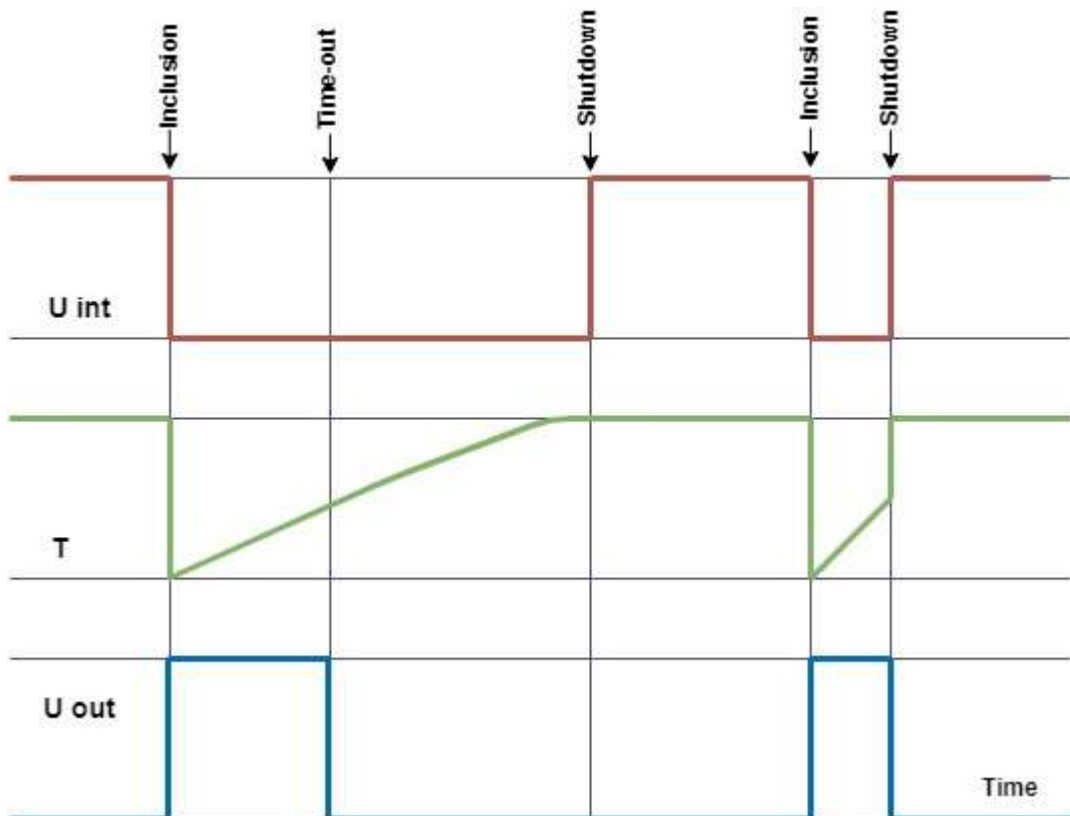
Рисунок 1.3 – Нейрон Nv – «збуджуючий»

При подачі позитивної напруги на вхід відбувається миттєва активація пристрою і на виході виходить 0 (земля). Для скидання необхідно перестати подавати позитивний сигнал на вхід, відбувається миттєва деактивація пристрою і на виході виходить позитивний сигнал.

Розглянемо принцип роботи Nv^+ «збуджуючий» нейронів Тілдена (рис.1.4а), та його конфігурацію сигналу в часі (рис. 1.4б), приклад Nv^+ нейрона представлений на рис. 1.4



а)

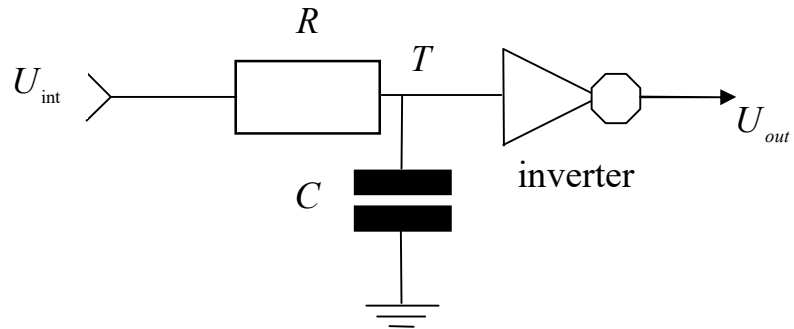


б)

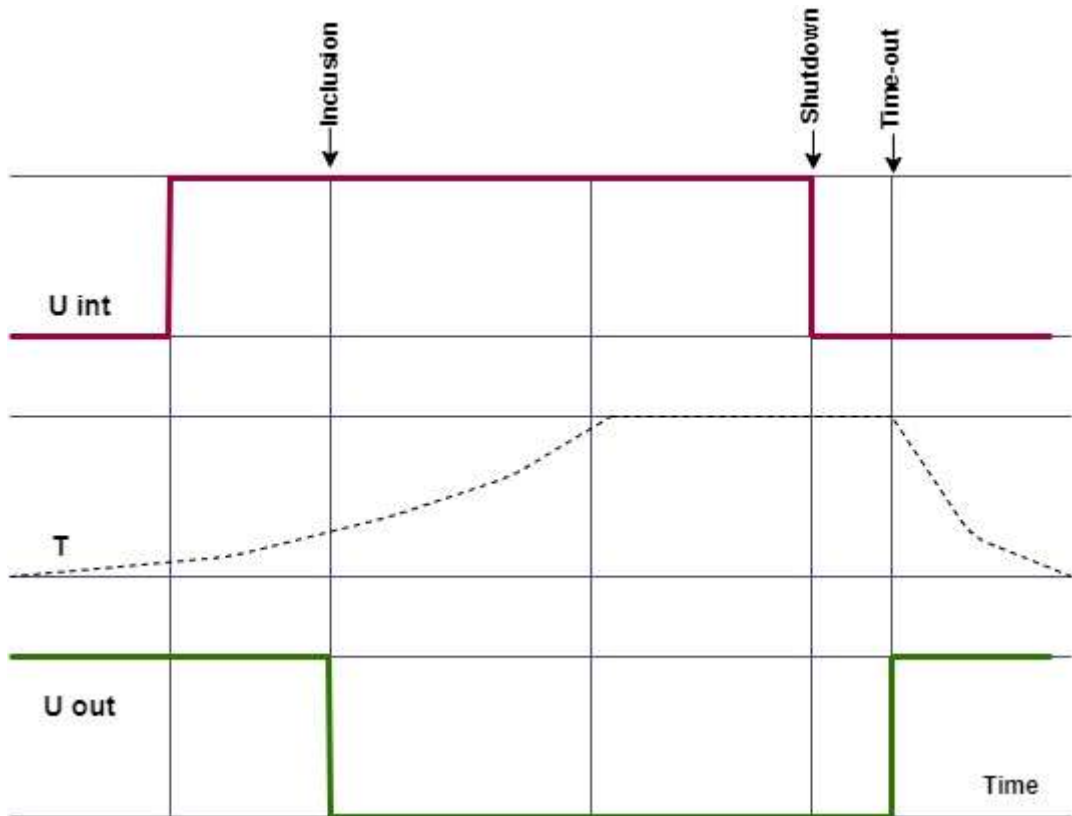
Рисунок 1.4 – Нейрон Nv^+ «збуджуючий»

Розглянемо принцип роботи Nu - нейрона "гальмуючий", нейрон реагує на вхідні зміни після деякої затримки сигналу і перемикає вихід після затримки

сигналу. Приклад Nu – нейрона «гальмуючий» представлений рис. 1.5а, часова діаграма сигналу на рис. 1.5б.



а)



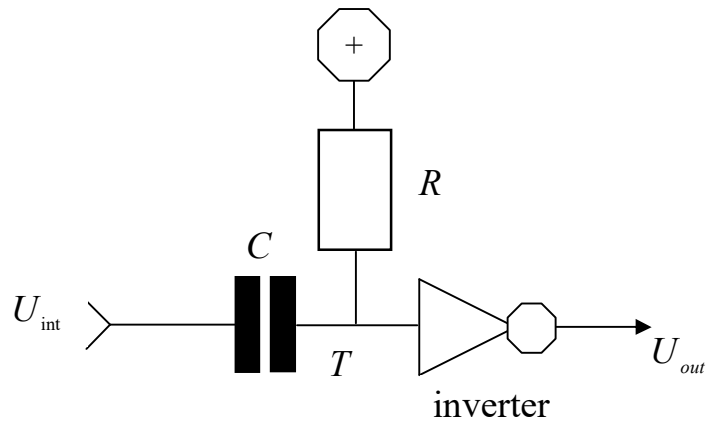
б)

Рисунок 1.5 – Nu – нейрон «гальмуючий»

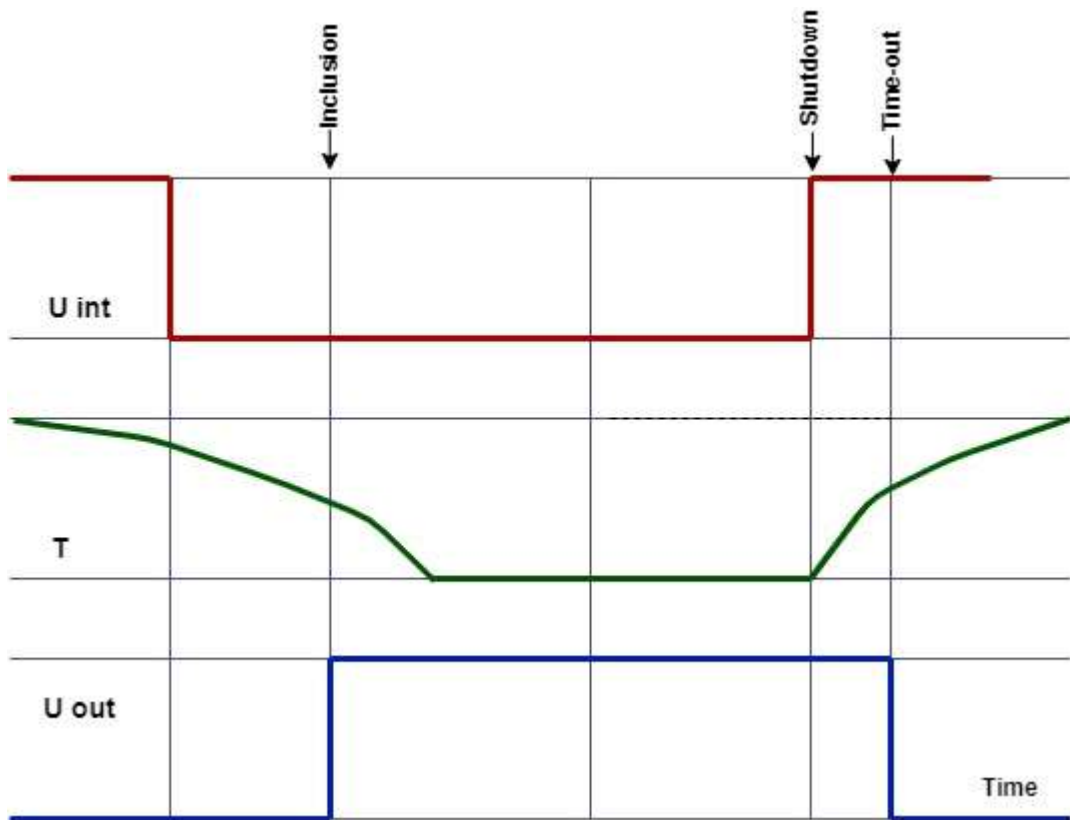
Схема складається з інтегруючої RC ланцюга (що подовжує імпульс) та інвертора. У цьому випадку вихідною напругою U_{int} є напруга на конденсаторі C . При ненасиченому конденсаторі C вихідна напруга U_{out} дорівнюватиме нулю. При підвищенні вхідної напруги U_{in} конденсатор C

почне насичуватися, що відбуватиметься за експонентою у цьому випадку, і напруга підвищуватиметься від нуля до максимуму за експонентою.

Розглянемо принцип роботи Nu + нейрон «гальмуючий», нейрон реагує на вхідні зміни після деякої затримки сигналу та перемикає вихід після затримки сигналу. Приклад Nu + нейрона «гальмуючий» представлений рис.1.6а, часова діаграма сигналу на рис. 1.6б.



а)



б)

Рисунок 1.5 – Nu + нейрон «гальмуючий»

Для розуміння роботи N_v і N_u нейронів Тілдена, наведемо одну з "класичних" схема у вигляді послідовного з'єднання N_v – , як показано на рис. 1.6.

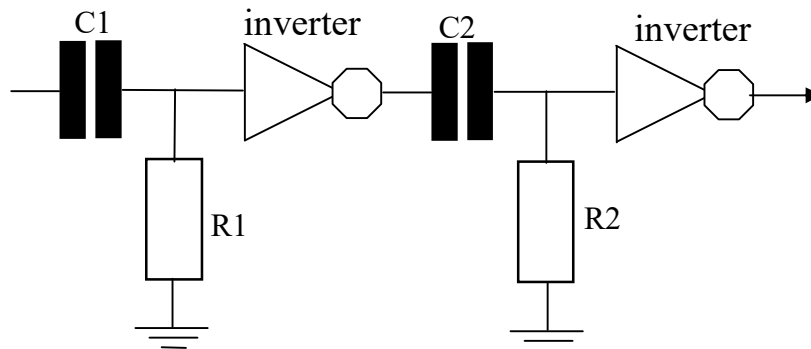


Рисунок 1.6 – Послідовне з'єднання нейронів N_vR
(«класична» схема)

Якщо на вхід нейронної мережі подати напругу від 0 до U вольт (залежно від параметрів застосовуваних деталей), то виході першого нейрона виходить падіння напруги до 0 вольт (цей нейрон перебуває у стані «ввимкнений»). Далі це падіння напруги розрядить конденсатор другого нейрона, після деякої затримки на виході вийде U вольт (другий нейрон перейде у стан «ввимкнений»). Якщо вхідну напругу знизити до 0 вольт, то конденсатор першого нейрона розрядиться (після невеликої затримки сигналу) і на виході першого нейрона вийде U вольт (перший нейрон перейде у стан «ввимкнений»). Ця напруга зарядить конденсатор другого нейрона (після невеликої затримки) і на виході другого нейрона вийде 0 вольт (другий нейрон перейде в стан "ввимкнений"). Можна зберегти цю послідовність, додаючи нейрон до нейрона і, зрештою, з'єднати вихід останнього нейрона з входом першого. Це кільце нейронів N_v – один із найпростіших типів мережі N_v , незважаючи на те, що складніші нейронні мережі вже створені. Приклад реалізації «простої» двоядерної мережі N_vR наведено на рис. 1.7.

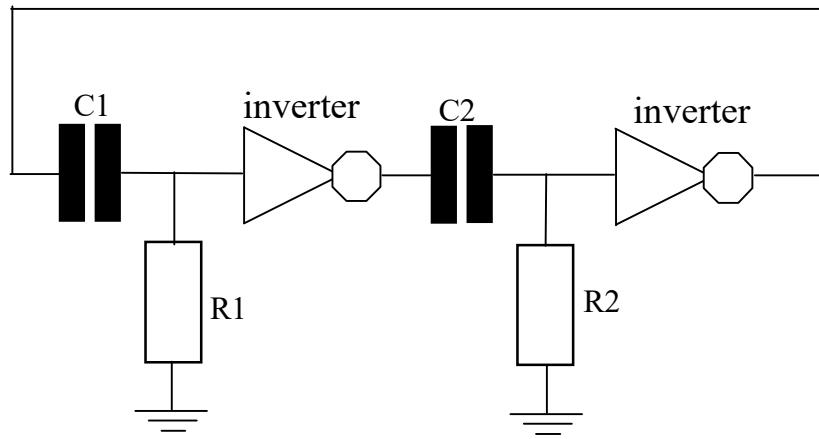


Рисунок 1.7 – Приклад «простої» двоядерної мережі NvR.

Таким чином, отримуємо базову, "просту" двоядерну мережу Nv-. Резистори обох нейронів пов'язані з основною, «заземлюючою» шиною, а називається дана мережа – заземлена двоядерна мережа. Завдяки двом інверторам ця двоядерна мережа генеруватиме імпульси (сигнал на виході кожного з інверторів буде протилежним) без подачі додаткового імпульсу.

Прикладом реалізацій мережі Nv може служити схем «Bolt Light» з використанням транзисторів 2N2907 і 2N2222. Особливістю даної системи управління серводвигуном полягає напруження живлення $V_{cc} = 4.5 \text{ V}$, 4mA. Електрична принципова схема Second H-bridge типу Bolt Light наведена на рис. 1.8 [25].

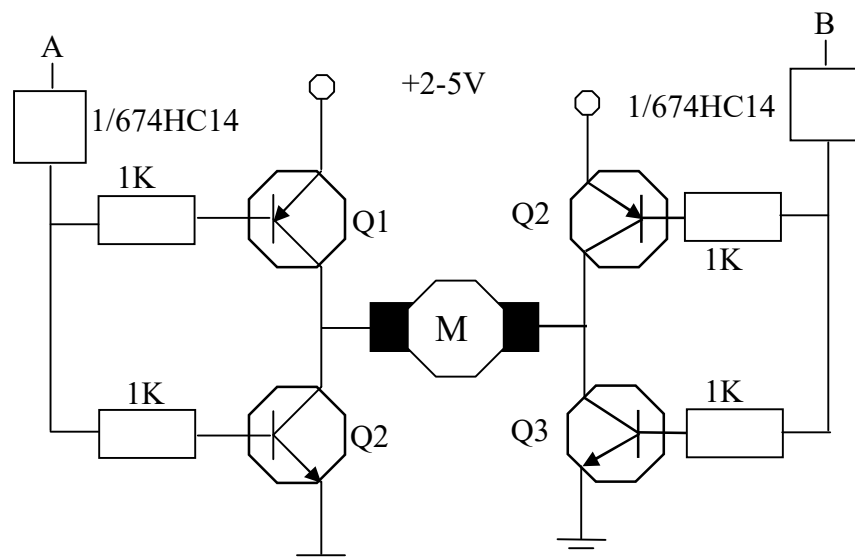
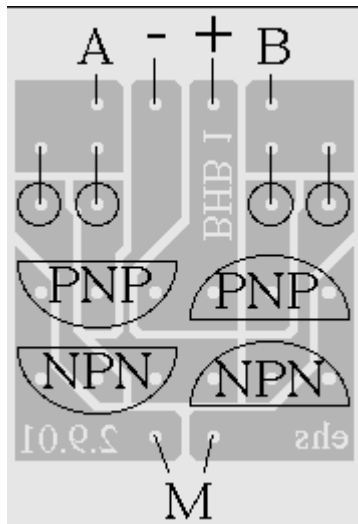
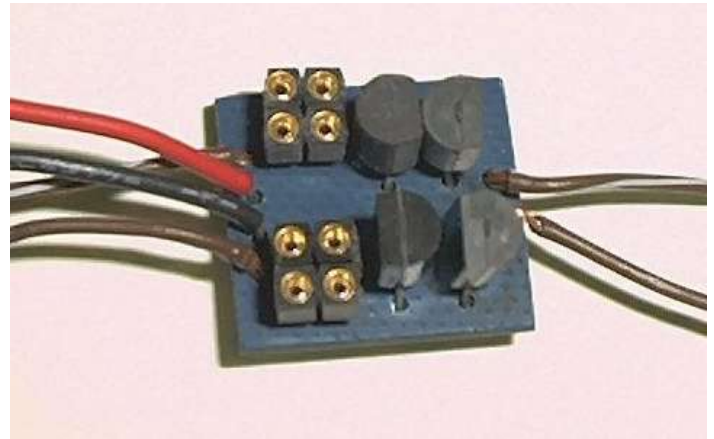


Рисунок 1.8. – Електрична принципова схема "Second H-bridge" типу "Bolt Light" для управління серводвигуном [25]

У цій схемі Q1, Q2 = BC327-25 або 2N2905A, Q3, Q4 = BC337-25 або 2N2219A. Якщо $A = 1$ і $B = 0$, то мотор працює, якщо навпаки ($A = 0$ і $B = 1$) стоїть. При цьому варто відмітити що M - стандартний сервомотор зі споживанням 360mA. Реалізація електричної принципової схеми "Second H-bridge" типу "Bolt Light" для управління серводвигуном наведена на рис. 1.9.



а)



б)

а) топологія друкованої плати;

б) реалізований макет;

Рисунок 1.9 – Фізична реалізація схеми Second H-bridge типу Bolt Light на базі мережі Nv

1.4. Концепція мікроядра

Концепція мікроядра дуже цікава і відрізняється від класичної теорії робототехніки. Використовуючи лише кілька компонентів, ви можете побудувати схему керування крокуючим роботом, який сприймає навколишнє середовище та відповідним чином коригує свою ходу. Схема складається з будь-якої кількості інверторів (нейронів), підключених один за одним. Кожен «нейрон» складається з конденсатора, затвора (інвертора) та резистора. Конденсатор з'єднує вихід одного вентиля із входом наступного вентиля, як представлено на рис. 1.10.

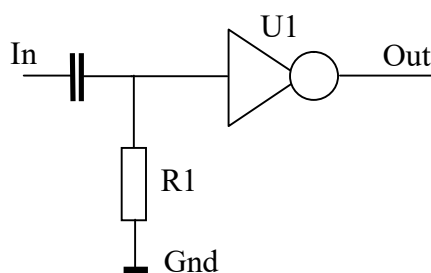


Рисунок 1.10 – Структура нейрона у мікроядрі

Робота такого мікроядра поділена на наступні фази:

Фаза 1. Конденсатор розряджений на вході інвертора 0 вольт, а на виході високий рівень (5 вольт), тому що інверторна мікросхема.

Фаза 2. Конденсатор розряджений, на вході інвертора 0 вольт, а на виході високий рівень (5 вольт), якщо ми підключимо вільну сторону конденсатора до 5 В, вхідний вивід затвора, в свою чергу, буде підключений до 5 В (конденсатор являє собою коротке замикання, оскільки він розряджений), а вихід затвора раптово перейде до 0 Вольттому, що мікросхема інверторна.

Фаза 3. Якщо ми зачекаємо деякий час, резистор повільно заряджатиме конденсатор, який повільно поверне вхід затвора до 0 Вольт.

Фаза 4. Вхід затвора досягне напруги приблизно 2,1, а вихід затвора знову повернеться до високого рівня. Резистор продовжуватиме підштовхувати вхід затвора до 0 В.

Грунтуючись на схемі мікроядра представленого на рис. 1.10, якщо ми підключимо вихід затвора 1 до вільної сторони конденсатора затвора 2, то кроки 2–4 повторяться з затвором 2. Якщо вихід затвора 2 підключити до вільної сторони затвора конденсатора 1, то процес повториться знову, і ми побудуємо biCore (нестабільний мультивібратор), приклад схеми якої наведено на рис. 1.11.

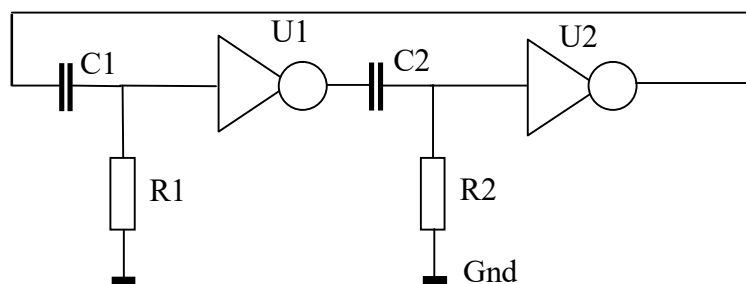


Рисунок 1.11 – Структура нейрона у мікроядрі

Значення RC-ланцюга будуть визначати швидкість, з якою цей імпульс поширюватиметься між двома нейронами. Таким чином, при збільшенні значення R або C або обох, постійна часу ($t = rc$) збільшиться, і процес уповільниться, зменшуючи значення R або C або обох, постійна часу ($t = rc$) зменшиться і процес буде швидше [26].

Якщо ми з'єднаємо таким чином 4 нейрони (рис.1.12), ми створимо типове мікроядро і побачимо, як цей імпульс переміщається від одного нейрона до іншого, поки ланцюг знаходиться під напругою.

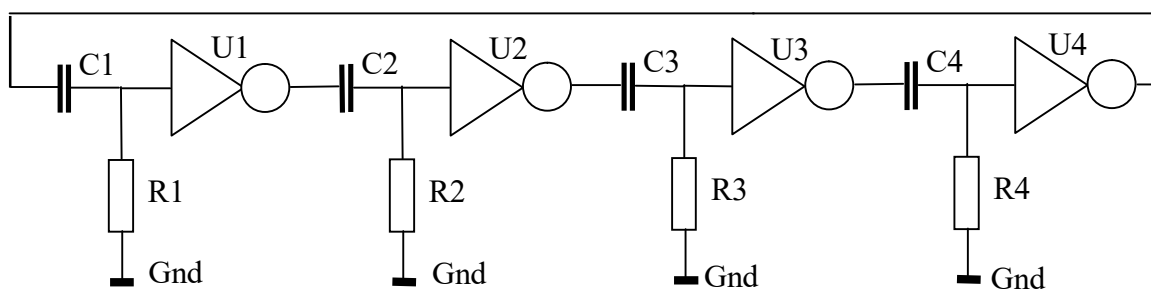


Рисунок 1.12 – Структура типового мікроядра

1.5 Класифікація та порівняльний аналіз класичних мобільних роботів та BEAM

Існують різні "тропні" BEAM-боти, які намагаються досягти певної мети. Із серії фототропи є найпоширенішими, оскільки пошук світла був би найвигіднішою поведінкою для робота на сонячній енергії..

В даний час автономні роботи бачили обмежене комерційне застосування, за деякими винятками, такими як робот-пилосос iRobot Roomba та кілька роботів для стрижки газонів. Основне практичне застосування BEAM полягало у швидкому створенні прототипів систем управління рухом та додатків для хобі/освіти. Марк Тілден успішно використав BEAM для створення прототипів продуктів для Wow-Wee Robotics, про що свідчать V.I.O.Bug та RoboRaptor. Solarbotics Ltd., Bug'n'Bots, JCM InVentures Inc. та PagerMotors.com також вивели на ринок товари для хобі та освіти, пов'язані з BEAM. також розробила Hexbugs, крихітних BEAM-роботів [27].

Робототехніки BEAM-початківці часто стикаються з проблемами через відсутність прямого контролю над «чистими» схемами управління BEAM. Продовжується робота з оцінки біоморфних методів, які копіюють природні системи, тому що вони, здається, мають неймовірну перевагу у продуктивності порівняно з традиційними методами. Існує безліч прикладів того, як крихітні мізки комах здатні працювати набагато краще, ніж найпросунутіша мікроелектроніка. Базові типи BEAM-роботів наведені на рис. 1.13.

Якщо провести класифікацію BEAM-роботів за типом руху та механізмів позиціонування, то їх умовно можна поділити на наступні групи [28]:

- **сидячі:** нерухомі роботи, які мають фізично пасивне призначення.
- **маяки:** передають сигнал (зазвичай навігаційний сигнал) для використання іншими BEAM-ботами.
- **пумери:** відображають світлове шоу.
- **прикраси:** все ім'я для сітерів, які не є маяками чи паммерами.
- **Сквірмери:** Стационарні роботи, які виконують цікаву дію (зазвичай переміщуючи якісь кінцівки або придатки).
- **Magbots:** використовують магнітні поля для свого режиму анімації.
- **flagwavers:** переміщують дисплей (або "прапор") з певною частотою.

- **heads:** Pivot and стежить за деякими явищами, такими як світло (вони популярні в спільноті BEAM. Це можуть бути автономні роботи, але частіше їх об'єднують у більші роботи.)

- **вібратори:** використовують невеликий пейджер двигун зі зміщеною від центру вагою, щоб струснути.

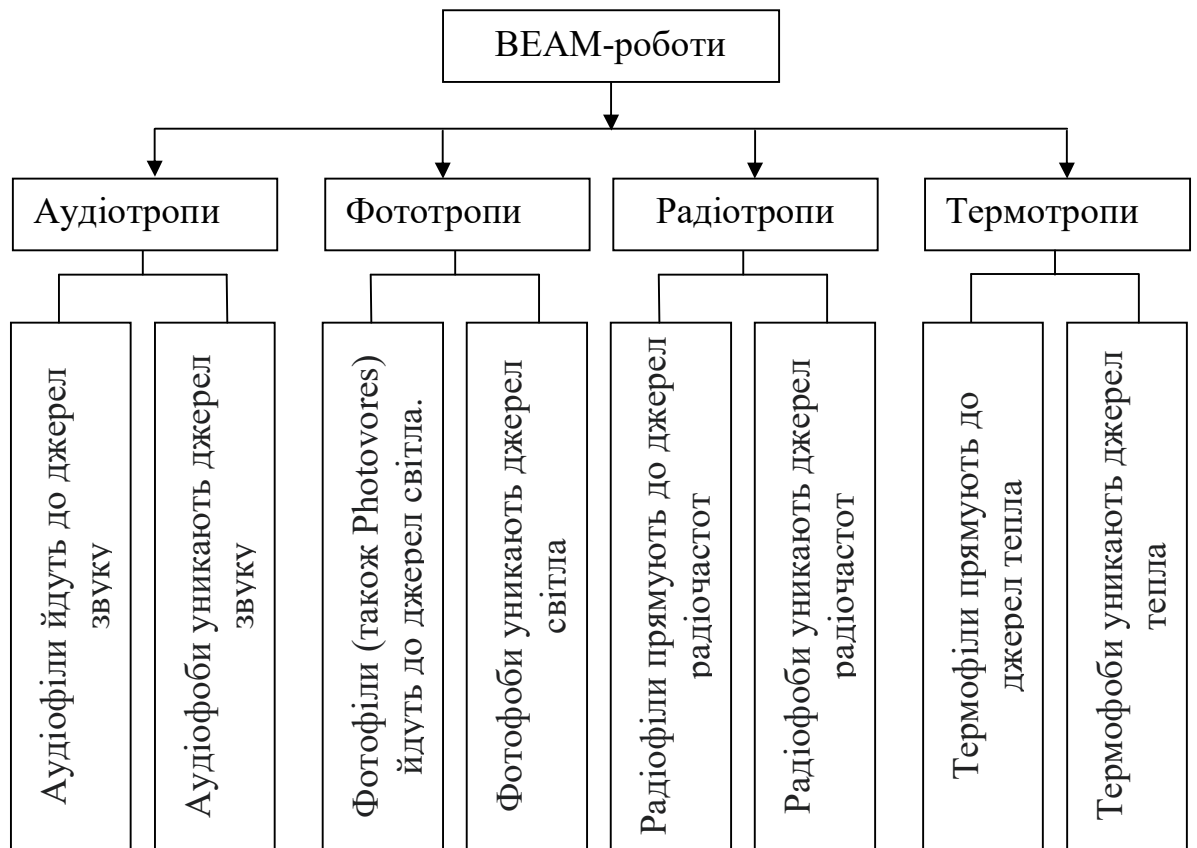


Рисунок 1.13 – Базові типи BEAM-роботів

- **слайдери:** Роботи, які переміщуються, плавно ковзаючи частинами тіла по поверхні, залишаючись при цьому в контакті з нею.

- **змії:** пересуваються, використовуючи рух горизонтальної хвилі.

- **дощові черви:** пересуваються, використовуючи рух поздовжньої хвилі.

- **повзунки:** роботи, які пересуваються за допомогою гусениць або обертаючи тіло робота з якимось додатком. Тіло робота по землі не тягнеться.

- **турботи**: обертають усім тілом, використовуючи руки чи джгутики.
- **inchworms**: переміщують частину свого тіла вперед, поки решта шасі знаходиться на землі.
- **гусеничні роботи**: використовують гусеничні колеса, такі як танк.
- **стрибуни**: роботи, які відриваються від землі як засіб пересування.
- **віброботи**: роблять нерегулярний струс, переміщаючись поверхнею.
- **springbots**: рухаються вперед, підстрибуючи в одному напрямі.
- **ролики** : роботи, які переміщуються, котячи всі або частину їхнього тіла.
- **symets**: приводяться в дію одним двигуном, вал якого торкається землі, і рухається у різних напрямках залежно від того, яка з кількох симетричних точок контакту навколо валу стосується землі.
- **solarrollers**: Solar - автомобілі з двигуном, в яких використовується один двигун, що приводить в рух одне або кілька коліс; часто призначені для проходження досить короткого, прямого та рівного маршруту за найкоротший час.
- **поппери**: використовують два двигуни з окремими; покладаються на диференціальні датчики задля досягнення мети.
- **міні-кулі**: зміщують свій центр мас, змушуючи їх сферичні тіла котитися.
- **ходунки**: роботи, які пересуваються за допомогою ніг з диференціальним контактом з масою.
- **з приводом** від двигуна: використовуються двигуни для переміщення ніг (зазвичай 3 двигуни або менше).
- **з приводом від м'язового дроту**: використовується нітінол (нікель - титановий сплав) дроту для приводів ніг.
- **плавці**: Роботи, що переміщуються на поверхні рідини (зазвичай води) або під нею.
- **бот-боти**: працюють на поверхні рідини.
- **суботи**: діють під поверхнею рідини.
- **летуни**: роботи, які тривалий час переміщуються повітрям.

- **вертольоти:** використовують гвинт для забезпечення підйомної сили та руху.

- **літаки:** використовують нерухомі або махаючі крила для створення підйомної сили.

- **дирижаблі:** використовують аеростат з нейтральною плавучістю для підйому.

- **альпіністи:** роботи, які переміщається вгору або вниз вертикальною поверхнею, зазвичай по рейках, таким як мотузка або дріт.

Якщо провести порівняльний аналіз недоліків та переваг ВЕАМ-роботів та класичних мобільних роботів, то можна виділити наступні характеристики, які наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1. – Порівняльний аналіз недоліків та переваг ВЕАМ-роботів та класичних мобільних роботів.

Характеристика	ВЕАМ-роботи	Класичні мобільні роботи
1	2	3
Енергопостачання	Перевага: Низька потреба в енергії	Недолік: Вимагають батарей або заряджання
Довговічність	Перевага: Можуть працювати довго без заміни батарей або заряджання	Недолік: Вимагають регулярну заміну батарей та обслуговування
Складність конструкції	Перевага: Проста механіка та конструкція	Недолік: Можуть бути складними та дорогими

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Програмування	Перевага: Легко програмуються та модифікуються для конкретних завдань	Недолік: Потрібне більш складне програмування та налаштування
Адаптація до навколишнього середовища	Перевага: Добре підходять для завдань у непередбачуваних умовах	Недолік: Можуть бути менш ефективними в обмежених просторах
Мобільність	Недолік: Обмежені механікою руху	Перевага: Можуть мати безліч способів руху
Вартість	Перевага: Зазвичай економічніші у виробництві	Недолік: Часто дорожчі і потребують великих витрат

Варто зауважити, що вибір між ВЕАМ-роботами та класичними мобільними роботами залежить від конкретних завдань та умов їх застосування. ВЕАМ-роботи зазвичай використовуються в середовищах, де доступ до електроенергії обмежений, і де потрібна простота конструкції, у той час як класичні мобільні роботи забезпечують більшу гнучкість та мобільність, але можуть споживати більше енергії та вимагати більш складної інфраструктури для роботи.

1.5 Питання до 1 розділу

1. Які були основні витоки та впливи, які сприяли створенню концепції ВЕАМ робототехніки?

2. Хто був ініціатором створення ВЕАМ робототехніки та які були її перші практичні застосування?

3. Як біологічні, електронні, естетичні та механічні аспекти поєднуються у BEAM роботах та чому ця інтеграція важлива?
4. Яким чином ідеї та принципи BEAM робототехніки вплинули на подальший розвиток робототехніки та науки взагалі?
5. Які важливі етапи і події в історії BEAM робототехніки допомогли сформувати її сучасний стан та популярність?
6. Які основні принципи філософії BEAM робототехніки та як вони відрізняються від інших підходів у робототехніці?
7. Які три закони робототехніки визначені в контексті BEAM, і як вони регулюють поведінку та функціонування роботів?
8. Як ви можете пояснити, що таке "нейро-вакуум" (Nv) та "нейро-перемикач" (Nu) нейрони Тільдена, і як вони впливають на структуру та поведінку роботів?
9. Які практичні застосування філософії та законів BEAM робототехніки можна знайти в сучасних роботах та технологіях?
10. Які переваги та обмеження існують в застосуванні філософії та законів BEAM робототехніки, і як вони впливають на їхню популярність у роботобудуванні?
11. Що означає концепція мікроядра в контексті BEAM робототехніки та як вона впливає на структуру та поведінку роботів?
12. Які основні принципи та ідеї лежать в основі концепції мікроядра, і як вона сприяє розвитку біоморфних роботів?
13. Які переваги та обмеження можна відзначити при використанні мікроядра в проектах зі створення BEAM роботів?
14. Які приклади реалізацій концепції мікроядра існують в сучасних BEAM роботах та їх застосуваннях?
15. Як мікроядра впливають на адаптивність та реакцію роботів на зміни у середовищі, і як це може бути використано для досягнення конкретних завдань у робототехніці?

16. Які основні категорії класичних мобільних роботів існують, і як вони відрізняються від BEAM роботів з точки зору конструкції та принципів роботи?

17. Які переваги та обмеження можна відзначити в класичних мобільних роботах порівняно з BEAM роботами в термінах реалізації завдань та ефективності?

18. Як впливає класифікація та різниця між класичними та BEAM роботами на їхню застосовність у конкретних областях, таких як промисловість, медицина, та освіта?

19. Які приклади успішних застосувань класичних мобільних роботів і BEAM робототехніки можна подати, щоб проілюструвати їхні можливості та переваги?

20. Які тенденції та інновації можна очікувати в майбутньому в області мобільних роботів та чи вплине це на порівняння між класичними та BEAM роботами?

2. СТРУКТУРНЕ ТА АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ BEAM РОБОТІВ

2.1 Структурна схема мобільного робототехнічного комплексу з трирівневою системою керування

Структурна схема мобільного робототехнічного комплексу з трирівневою системою управління є ключовим елементом розуміння та аналізу сучасних автономних роботів. Цей розділ навчального посібника вводить вас у концепцію трирівневої архітектури, яка охоплює верхній, середній та інженерний рівні управління. Ми будемо досліджувати, як кожен із цих рівнів взаємодіє та сприяє досягненню успішного функціонування мобільних роботів, що є фундаментом для їх використання в різних додатках, починаючи від виробництва та закінчуючи дослідницькими та медичними областями.

В цілому, структурна схема мобільного робототехнічного комплексу є важливим інструментом для опису, аналізу, розробки та обслуговування робототехнічних систем, що сприяє їхній ефективнішій та надійнішій роботі.

Структурна схема мобільного робототехнічного комплексу із трирівневою системою управління представлена на рис. 2.1 [29]. Нижній рівень складається з чотирьох коліс, електродвигунів з енкодерами, драйверів живлення двигунів та мікроконтролерів управління сервоприводу. Мікроконтролери виконують функцію адаптивних пропорційно-інтегрально-диференціюючих регуляторів.

Наведена структура є «класичним» рішенням розробки мобільних роботів, залежно від завдань, умов експлуатацій прикладена конфігурація може бути змінена чи інтегрована розробником. Також для виконання завдань можуть використовуватись додаткові модулі, які розширюють функціональні можливості (використання маніпуляторів). Проведемо опис кожного елемента структурної схеми та його призначення. Почнемо з нижнього рівня:

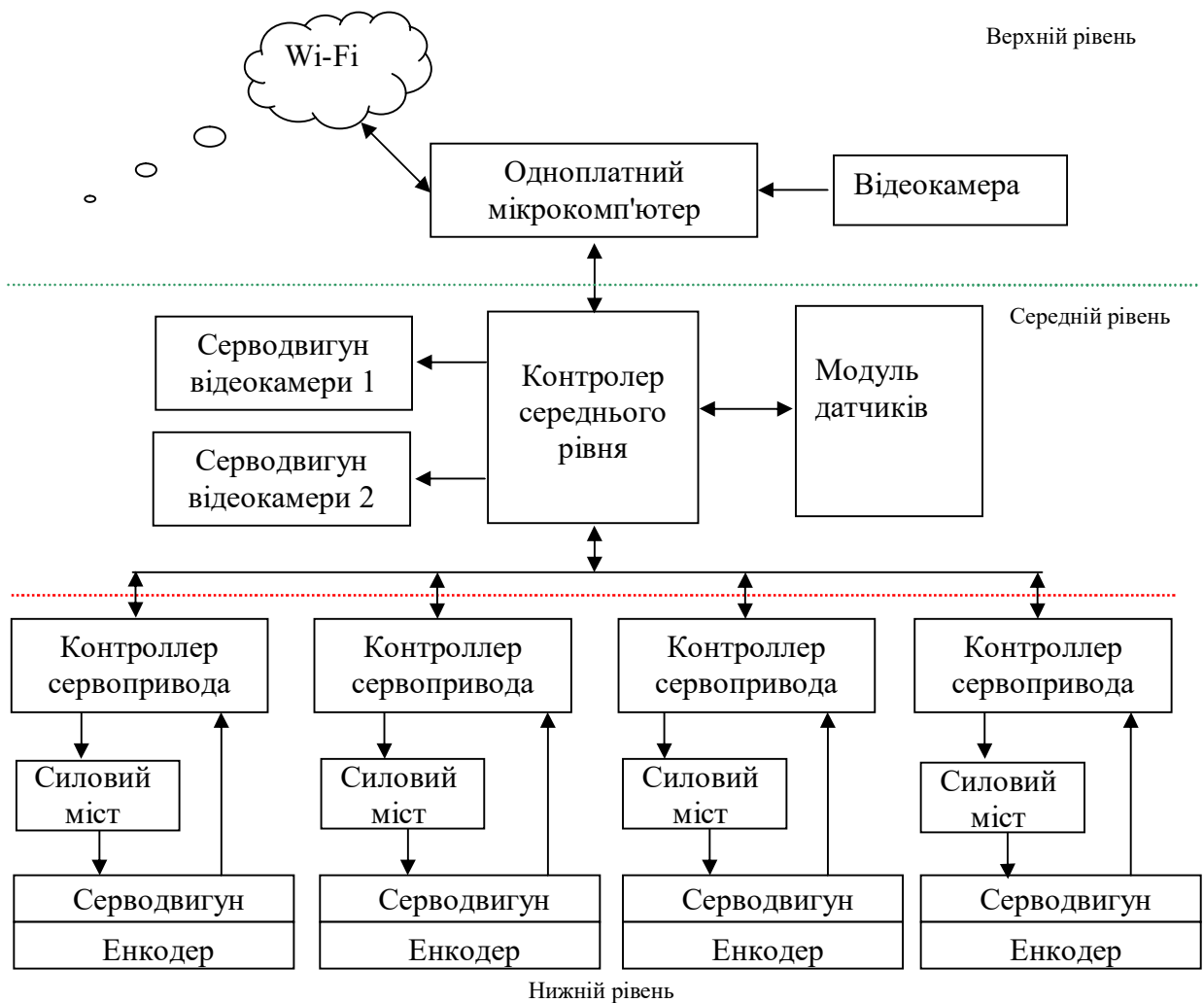


Рисунок 2.1 – Структурна схема мобільного робототехнічного комплексу з трирівневою системою керування.

- **енкодер** на серводвигуні служить для забезпечення точного контролю та зворотного зв'язку про становище та швидкість обертання валу серводвигуна. Це дозволяє системі управління точно визначити місце розташування серводвигуна і коригувати його рух у реальному часі, забезпечуючи високу точність та стабільність у процесі роботи. Енкодери також дозволяють системі управління моніторити та коригувати рух у разі зовнішніх збурень, таких як опір та навантаження, що робить їх важливими для застосування в промислових та автоматизованих системах, де потрібна висока точність позиціонування та управління рухом;

- **серводвигун** – це електромеханічний пристрій, призначений для точного керування позицією, швидкістю та прискоренням механічних систем. Він має високу моментну потужність і дозволяє контролювати рух з високою точністю та динамікою. Серводвигуни широко застосовуються в автоматизованих системах, робототехніці, промисловості та інших галузях, де потрібне точне та динамічне позиціонування механічних компонентів;

- **силовий міст (або інвертор)** в системі з серводвигуном використовується для перетворення електричного сигналу в механічний рух. Він керує подачею змінного струму в серводвигун, що дозволяє змінювати швидкість та напрямок обертання валу. Силовий міст відіграє ключову роль у реалізації точного та динамічного керування серводвигуном, що важливо для автоматизованих систем, де потрібна висока продуктивність та точність позиціонування.;

- **контролер сервоприводу** необхідний управління та координації роботи серводвигуна. Він забезпечує високоточне та динамічне керування позицією, швидкістю та прискоренням серводвигуна відповідно до заданих параметрів. Контролери сервоприводу також забезпечують зворотний зв'язок від енкодера, що дозволяє системі точно визначити положення серводвигуна та коригувати його роботу в реальному часі. Це робить контролери сервоприводу важливими компонентами в автоматизованих системах та робототехніці, де потрібна висока точність та динамічність руху.

Середній рівень системи управління мобільного робототехнічного комплексу складається з таких елементів:

- **контролер середнього рівня** у мобільних робототехнічних комплексах виконує кілька важливих функцій. По-перше, він служить для обробки та аналізу даних, отриманих від датчиків робота, таких як камери, лідари та гіроскопи. По-друге, контролер середнього рівня відповідає за планування маршрутів, навігацію та управління рухом робота, що дозволяє йому ефективно переміщатися у навколишньому середовищі. Крім того, цей контролер може включати алгоритми машинного навчання і комп'ютерного

зору для розпізнавання об'єктів та прийняття рішень на основі сприйняття навколишнього середовища. Таким чином, контролер середнього рівня відіграє центральну роль у забезпеченні автономності та інтелектуальної здатності мобільного робота.;

- **серводвигун** дозволяє реалізувати панорамування та нахил (Pan-Tilt): Один серводвигун відповідає за панорамування, тобто поворот камери в горизонтальній площині, дозволяючи їй охоплювати велику область навколо робота. Інший серводвигун керує нахилом камери у вертикальній площині, що дозволяє їй змінювати кут огляду по вертикалі. Таким чином, два серводвигуни для камери мобільного робота дозволяють значно покращити його здатність спостереження, сприйняття та взаємодії з навколишнім середовищем.;

- **модулі датчиків** відіграють важливу роль у мобільних робототехнічних системах, вони виконують збір даних про довкілля, дозволяють роботу сприймати фізичні параметри зовнішнього середовища, такі як відстань, освітленість, температура, рівень шуму та інші. Ці дані необхідні для аналізу та розуміння навколишнього середовища;

- **зворотний зв'язок та управління**: Датчики надають роботу інформацію про його власний стан, таку як положення, орієнтація, швидкість та рівень заряду батареї. Цей зворотний зв'язок дозволяє системі управління приймати рішення та коригувати дії робота;

- **навігація та уникнення перешкод**: датчики, такі як лідари та ультразвукові далекоміри, використовуються для визначення відстаней до перешкод та створення карти навколишнього середовища. Це необхідно для навігації та планування маршрутів, а також для уникнення зіткнень;

- **системи сприйняття**: датчики, такі як камери та датчики зображення, дозволяють роботу бачити та розпізнавати об'єкти, людей та інші роботи у навколишньому середовищі. Це важливо для завдань комп'ютерного зору, машинного навчання та взаємодії з об'єктами.

Таким чином, модулі датчиків надають роботам здатність сприйняття та аналізу навколишнього середовища, що робить їх більш автономними та здатними виконувати різноманітні завдання у різних галузях, включаючи автоматизацію, робототехніку, медицину та багато іншого.

На самому верхньому рівні трирівневої системи керування знаходиться одноплатний комп'ютер, який виконує наступні функції.:

- **централізоване управління:** Одноплатні комп'ютери забезпечують централізоване керування всією системою. Вони координують роботу всіх компонентів, включаючи сенсори, двигуни, камери та інші пристрої, щоб робот міг ефективно виконувати свої завдання;

- **високорівнева обробка даних:** Одноплатні комп'ютери можуть виконувати складні обчислення та обробку даних, включаючи аналіз зображень, розпізнавання об'єктів та планування маршрутів. Це дозволяє роботу приймати інтелектуальні рішення на основі отриманої інформації;

- **комунікація та взаємодія:** Одноплатні комп'ютери забезпечують зв'язок між роботом та оператором або іншими пристроями через бездротові або дротові мережі. Вони можуть передавати дані про стан робота, отримувати команди та забезпечувати віддалене управління;

- **оновлення та розширення:** Одноплатні комп'ютери зазвичай мають можливість програмного оновлення, що дозволяє розширювати функціональність робота, впроваджувати нові алгоритми і покращувати його продуктивність відповідно до вимог і завдань, що змінюються.

Таким чином, одноплатні комп'ютери на верхньому рівні системи управління відіграють роль мозку робота, забезпечуючи високорівневе управління, аналіз даних та взаємодію з навколишнім середовищем та оператором через бездротові мережі (Wi-Fi).

2.2. Апаратне забезпечення BEAM-роботів

Апаратне забезпечення мобільного робототехнічного комплексу є фундаментальною складовою, що визначає його функціональність та можливості. Цей комплекс зазвичай включає різноманітне обладнання та пристрої, які забезпечують його здатність сприйняття навколишнього середовища, прийняття рішень і виконання завдань. Сенсори, такі як камери, лідари та ультразвукові далекоміри, надають інформацію про навколишнє середовище, а комп'ютери та контролери керують рухом та функціональністю робота. Серводвигуни та механізми маніпуляції дозволяють роботу переміщуватися та взаємодіяти з об'єктами. Апаратне забезпечення мобільного робота є ключовим елементом, що забезпечує його автономність, ефективність та застосовність у різних галузях, включаючи виробництво, медицину, дослідження та багато іншого.

Грунтуючись на запропонованій структурній схемі мобільного робототехнічного комплексу з трирівневою системою управління (рис. 2.1), проведемо аналіз та огляд апаратних модулів на базі яких можна розробити та зібрати мобільний робот або BEAM-робот.



а)



б)



с)

а) 2WD Arduino DIY Robot Chassis and Electronic Kit [30];

б) Jual DIY 4WD Robot Smart Car Chassis Kit car [31];

с) UUK Smart 6WD Robot Car Metal Chassis Platform Kit, DIY Cross Country Chassis with Shock [32].

Рисунок 2.2 – Порівняння мобільних роботів на платформах із різною кількістю коліс (2WD, 4WD и 6WD)

Проведемо порівняльний аналіз переваг та недоліків мобільних роботів на платформах з різною кількістю коліс (4WD, 6WD і 2WD) і представимо отримані результати представимо в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Порівняльний аналіз переваг та недоліків мобільних роботів на платформах з різною кількістю коліс (4WD, 6WD і 2WD).

Характеристика	Мобільний робот		
	2WD[30]	4WD[32]	6WD [32]
1	2	3	4
Переваги			
Маневреність	Висока	Помірно гарна	Гарна
Стійкість	Помірна	Помірна	Дуже гарна
Вантажопідйомність	Обмежена	Дуже висока	Помірна

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
Тип рушіїв	Два колеса	Чотири колеса	Шість коліс
Швидкість	Помірна	Помірна	Висока
Поворот на місці	Можливий, але потребує маневрів	Можливий, але складний.	Можливий
Застосування	Прості завдання та маневри, такі як агресивні повороти.	Широкий спектр застосувань, включаючи промисловість та дослідження	Застосовуються в складних умовах, наприклад, у ґрунтовій механіці та дослідженнях на льоду
Недоліки			
Складність управління	Обмежені можливості маневру	Може вимагати складних алгоритмів керування через чотири колеса	Управління складніше через шість коліс, вимагає більш точної координації.
Вартість	Зазвичай нижчі, але обмежені можливості.	Помірна	Зазвичай вище через більшу кількість коліс та електроніки.
Ефективність	Середня	Середня	Дуже висока через збільшену вантажопідйомність.

Застосування гусеничних платформ у мобільних роботах обґрунтовується рядом ключових переваг, які роблять їх кращими у багатьох сценаріях:

- прохідність та адаптація до різноманітних поверхонь: Гусеничні роботи здатні легко переміщатися різноманітними поверхнями, включаючи нерівну місцевість, ґрунт, пісок, сніг, бруд та інші складні території. Їхня висока прохідність робить відмінним вибором для дослідницьких та практичних завдань поза приміщеннями, де стандартні колісні роботи можуть виявитися неефективними;

- стійкість та здатність переносити вантажі: Гусеничні платформи мають широку опорну поверхню, що забезпечує високу стійкість. Вони здатні піднімати значні вантажі та працювати на похилих поверхнях, що робить їх важливими для завдань, пов'язаних із транспортуванням та маніпуляціями;

- точне управління і маневреність: Гусеничні роботи мають більш точне управління і можуть виконувати повороти на місці. Це дозволяє їм ефективно

навігувати в обмежених просторах і точно позиціонуватися, що важливо у таких галузях, як робототехніка, медицина та будівництво;

- спеціалізовані завдання: Гусеничні роботи часто використовуються у спеціалізованих завданнях, таких як дослідження в умовах сильної засніженості, бездоріжжя або видобуток корисних копалин, де вони можуть продемонструвати свої переваги максимальною мірою.

На рис. 2.3 наведено приклад 2WD 4WD гусеничних платформ, в таблиці 2.2 - їх порівняльний аналіз переваг та недоліків.



а)

б)

а) Inteligentny Robot Tank podwozie ślędzone platformy samochodu T101 [33]

б) Premium Robot Tank Car Chassis TT02 [34]

Рисунок 2.3 – Приклад порівняння 2WD та 4WD гусеничних платформ

Таблиця 2.2 – Порівняльний аналіз переваг та недоліків 2WD та 4WD гусеничних платформ.

Характеристика	Гусеничний Робот	
	2WD [33]	4WD [34]
1	2	3
Переваги		
Стійкість	Помірна	Дуже висока.
Вантажопідйомність	Помірна	Дуже висока
Тип рушійв	Дві гусениці	Чотири гусениці
Швидкість	Висока	Помірна

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
Маневреність	Дуже висока	Помірна
Поворот на місці	Можливий	Можливий, але потребує маневрів.
Застосування	Зазвичай застосовуються у завданнях, де висока маневреність та швидка швидкість важливі.	Застосовуються в умовах з низькою прохідністю та вимогами до високої стійкості та вантажопідйомності
Недоліки		
Складність управління	Управління простіше через дві гусениць.	Управління може вимагати складніших алгоритмів через чотири гусениць..
Вартість.	Зазвичай нижче через меншу кількість приводів.	Зазвичай вище через більшу кількість приводів та додаткової електроніки
Ефективність	Помірна	Дуже висока через високу вантажопідйомність та стійкість

Таблиця 2.2 дозволяє оцінити переваги та недоліки мобільних роботів на гусеничних платформах з різним числом приводів та вибрати найбільш доцільний варіант залежно від конкретних завдань та вимог. Наприклад, 4WD гусеничні роботи часто використовуються в умовах з низькою прохідністю та необхідністю у високій стійкості та вантажопідйомності, в той час як 2WD гусеничні роботи можуть бути переважними у завданнях, де важливі висока маневреність та швидкість.

Двигуни з редуктором і без редуктора є різними типами електричних двигунів, і їх відмінність полягає в наявності або відсутності механічної передачі, так званого редуктора. Цей редуктор змінює характеристики руху та вихідну потужність двигуна, що робить їх придатними для різних додатків та завдань.

На рис. 2.4 наведені базові двигуни постійного струму для невеликих мобільних роботів, які використовуватимуться для забезпечення переміщення як колісних так і гусеничних платформ. Порівняльний аналіз параметрів даних двигунів постійного струму наведено в таблиці 2.3



а)



б)



в)



г)

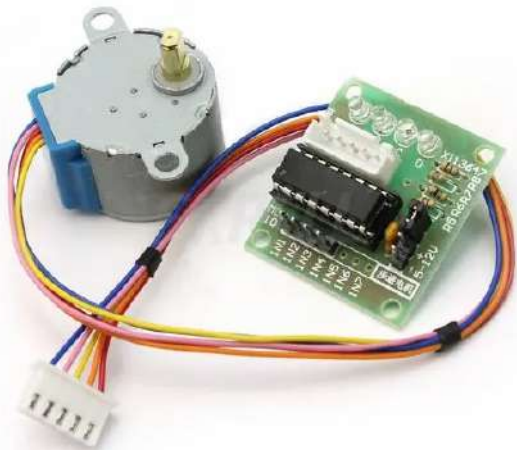
- а) Двигун з редуктором 1:48 DC 3V-6V[35];
- б) Двигун постійного струму Sodfunt Co 3-6V [36];
- в) DC motor 300FZ-12350 (1,5-9V) 6V 7500 rpm [37];
- г) DC motor N60 (3V-6V) 6V 26000 rpm [38].

Рисунок 2.4 – Базовий двигун постійного струму.

Таблиця 2.3 – Порівняльний аналіз параметрів двигунів постійного струму.

Параметр	Тип двигуна			
	1:48 DC 3V-6V [35]	Sodfunt Co 3-6V [36]	DC motor 300FZ-12350[37]	DC motor N60 (3V-6V) 6V [38]
1	2	3	4	5
Напруга (V)	3-6	3-6	3-6	3-6
Швидкість обертання (обертів/хв)	Не вказана	Не вказана	7500	26000
Редуктор	1:48	Відсутній	Відсутній	Відсутній
Переваги	Високий момент при низькій швидкості обертання.	Широкий діапазон напруги живлення	Висока швидкість обертання	Дуже висока швидкість обертання
Недоліки	Обмежена швидкість обертання	Відсутність редуктора збільшення моменту	Обмежена сила обертання (момент)	Низький момент за високої швидкості

Крокові двигуни – це спеціальний тип електродвигунів, які застосовуються для виконання точних та контрольованих рухів. Вони характеризуються особливим механізмом роботи, який дозволяє їм переміщатися певним кутовим або лінійним кроком з високою точністю. Приклад крокових двигунів наведено на рис. 2.5.



а)



б)

а) Кроковий двигун з редуктором 28BYJ-48 і платою ULN2003 [39];

б) Кроковий двигун 17HS4023 1.0а 0.42NM Titan (16591) [40].

Рисунок 2.5 – Приклад крокових двигунів

Порівняльний аналіз параметрів крокових двигунів (рис. 2.5) наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Порівняльний аналіз параметрів крокових двигунів 28BYJ-48 та 17HS4023 1.0а 0.42NM.

Параметр	Марка двигуна	
	28BYJ-48 [39]	17HS4023 1.0а 0.42NM Titan [40]
1	2	3
Напруга живлення (V)	5V	2.8V - 5.6V
Кут кроку (degrees/step)	5.625° (64 кроку на повний обіг)	1.8° (200 кроків на повний обіг)
Максимальний момент (крутний момент) (N*м)	~0.03	~ 0.42
Струм (A)	-	1.0

Продовження таблиці 2.4.

1	2	3
Переваги	Низька напруга живлення. Дешевизна. Побудований із редуктором для збільшення моменту	Висока точність кроку. Високий момент. Низьке енергоспоживання
Недоліки	Низька точність шага (через великий кут кроку). Низький максимальний момент. Обмежена швидкість. Необхідний додатковий драйвер ULN2003.	Більш висока напруга живлення в порівнянні із 28BYJ-48. Необхідний драйвер для керування. Більш висока вартість у порівнянні із 28BYJ-48

Варто звернути увагу, що 28BYJ-48 з редуктором та ULN2003 зазвичай використовується в бюджетних та низьковимогливих додатках, де необхідне просте та недороге позиціонування. Він добре підходить для безлічі проектів, але може мати обмеження щодо точності та максимального моменту.

З іншого боку, 17HS4023 забезпечує більш високу точність кроку, вищий максимальний момент і ширший діапазон напруги, що робить його придатним для більш вимогливих завдань, таких як 3D-принтери, ЧПУ-машини та інші додатки, де необхідне точне та надійне позиціонування.

Для контролю швидкості обертання двигуна постійного струму (ДПТ) часто використовується енкодер. Енкодер - це пристрій, який перетворює кут обертання або положення валу двигуна в електричний сигнал або код, який можна інтерпретувати та використовувати для контролю та зворотного зв'язку про поточну швидкість та положення. Приклад енкодерів наведено на рис. 2.6.

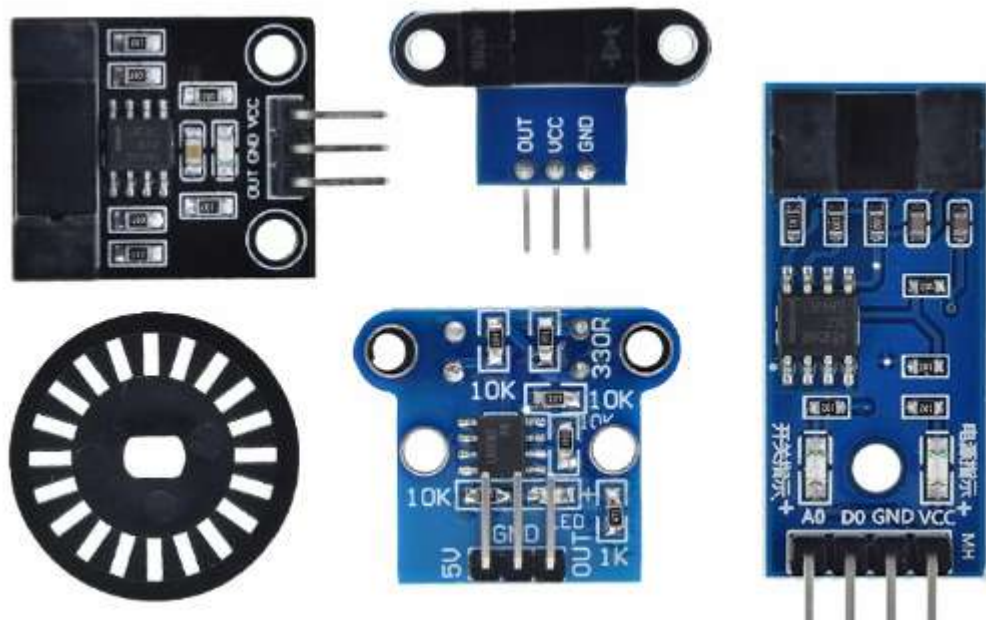


Рисунок 2.6. – Приклад енкодерів [41-43]

Модуль датчика обертів двигуна призначений головним чином визначення швидкості обертання валу електродвигуна. Цей модуль разом із мікроконтролером може визначати крім швидкості також кількість імпульсів і положення валу. Як правило, датчики вимірюють величину завдяки реєстрації певних подій, потім кількість подій співвідноситься з періодом часу, за який вони відбулися.

Так у цьому випадку вимірюється швидкість - під подіями тут розуміються імпульси, отримані в результаті спрацьовування оптичного датчика під час обертання диска з прорізами. Датчик складається з світлодіода та фототранзистора, який сприймає наявність чи відсутність випромінювання світлодіода..

Модуль є простим пристроєм, основний елемент якого, це оптопара, що складається з інфрачервоного випромінювача (діода) і фотоприймача (фототранзистор). У нормальному стані, якщо між випромінювачем і фотоприймачем немає нічого, фотоприймач відкритий, і на виході отримуємо логічну «1», але якщо між ними помістити будь-який непрозорий об'єкт фотоприймач закритється і на виході отримаємо логічний «0».

Модуль зчитування кутових швидкостей використовується для зчитування числа обертів двигуна робота. Зазвичай це необхідно знати під час руху робота за заданою програмою. Наприклад: за нашою програмою роботу потрібно проїхати 2 метри і повернути ліворуч, вважаємо що у робота 2 однакових колеса з 3-ою кульовою опорою як у 2WD (рис. 2.1) і вони дорівнюють діаметру $D = 5$ см. Обчислюємо довжину кола колеса $= P \times D = 3,14 \times 5 = 15,7$ см; Обчислюємо скільки обертів повинні зробити двигуни робота, щоб він проїхав 2 метри $= 200 : 15,7 = 12,7$ обертів. Включаємо в програмі двигуни, а по енкодеру в програмі визначаємо скільки двигуни зробили обертів, як тільки їх стане 12,7 то двигуни відключаємо і для повороту в залежності від кута та напрямки повороту підраховуємо кількість обертів одного з коліс робота. Приклад реалізацій установки датчика H206 для двигуна з редуктором 1:48 DC 3V-6V, представлений на рис. 2.7.

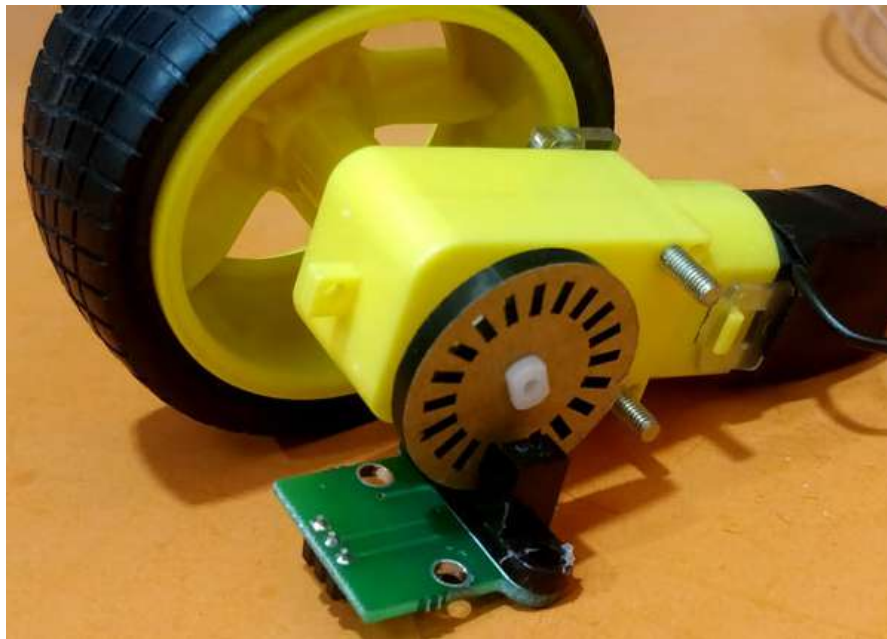


Рисунок 2.7 – Приклад реалізацій установки датчика H206 для двигуна з редуктором 1:48 DC 3V-6V

Пластина із сітчастим градуванням має 20 поділів (слотів, отворів). Це означає, що за час повного обороту колеса інфрачервоний датчик зможе виявити 20 пропусків (отворів). Оскільки в нашому проєкті ми будемо

використовувати датчики встановлені на обох колесах робота це означає, що ми зможемо визначати і кут повороту робота, але з невеликою похибкою.

Для управління напрямом обертанням двигунам постійного струму типу DC 3V-6V (рис. 2.4 а-г) необхідно використовувати драйвер двигуна.

Драйвер двигуна - це електронний пристрій чи інтегральна мікросхема, спеціально розроблена для керування електричними двигунами, такими як двигуни постійного струму (ДПТ) або крокові двигуни. Драйвери двигуна виконують важливу функцію в електроніці та автоматизації, забезпечуючи точний та контрольований рух механічних систем. Ось кілька ключових причин, чому драйвери двигуна необхідні:

- керування потужністю: Драйвери двигуна надають інтерфейс між мікроконтролером або мікропроцесором та самим двигуном. Вони здатні керувати джерелами живлення та струмом двигуна, що особливо важливо, коли потрібна потужність, що перевищує здатність безпосереднього управління мікроконтролера;

- зміна напрямку руху: Драйвери двигуна зазвичай мають можливість змінювати напрямок обертання двигуна. Це досягається зміною напрямку потоку струму через обмотки двигуна, що уможлиблює рух вперед і назад без зміни фізичної конфігурації з'єднань;

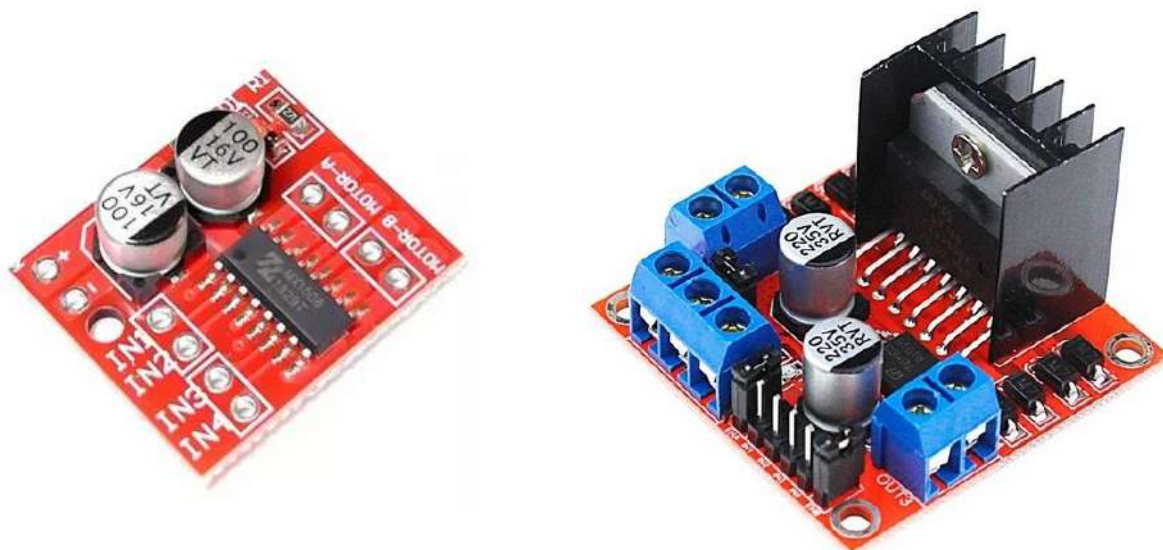
- регулювання швидкості: За допомогою драйверів двигуна можна контролювати швидкість обертання двигуна. Це досягається методом модуляції ширини імпульсів (PWM), які змінюють частку часу, протягом якої живлення подається на двигун. Регулювання швидкості особливо важливе у додатках, де потрібне точне позиціонування;

- захисні функції: Деякі драйвери двигуна включають захисні функції, такі як захист від перегріву, захист від короткого замикання та контроль струму. Ці функції допомагають запобігти пошкодженню двигуна або драйвера у разі непередбачених ситуацій.

- застосування в автоматизації та робототехніці: Драйвери двигуна є ключовими компонентами в автоматизованих системах та робототехніці.

Вони дозволяють точно та надійно керувати двигунами, що важливо для виконання різноманітних завдань, від переміщення роботів до керування промисловими механізмами..

На рис. 2.8 наведено драйвери двигунів, а таблиці 2.5 порівняльний аналіз їх характеристик.



а)

б)

а) Драйвер двигуна 2-кан Н-міст MX1508, L298N Mini [44]

б) Драйвер двигуна L298N [45]

Рисунок 2.8 – Драйвери двигунів

Таблиця 2.5 – Порівняльний аналіз базових характеристик драйвера двигуна MX1508 Min та L298N.

Параметр	Драйвер двигуна	
	MX1508 [44]	L298N [45]
1	2	3
Тип двигунів	Двигуни постійного струму (DC)	Двигуни постійного струму (DC)
Максимальний струм	2.5A (на канал)	2A (на канал)
Максимальна напруга живлення	10V	46V

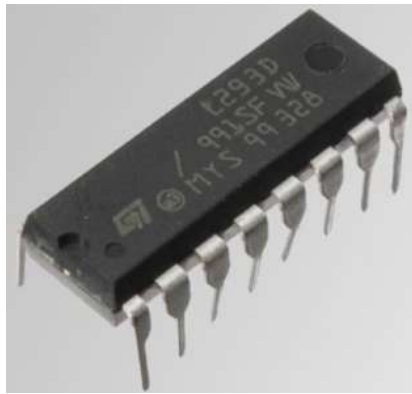
Продовження таблиці 2.5

1	2	3
Інтерфейс керування	Постійна напруга (PWM)	Постійна напруга (PWM)
Інвертування напрямку	ні	Так
Вбудований захист від навантаження	Так	Так
Вбудований захист від перегріву	Так	Так
Регулювання швидкості	Так	Так
Розміри	Невеликі	Великі

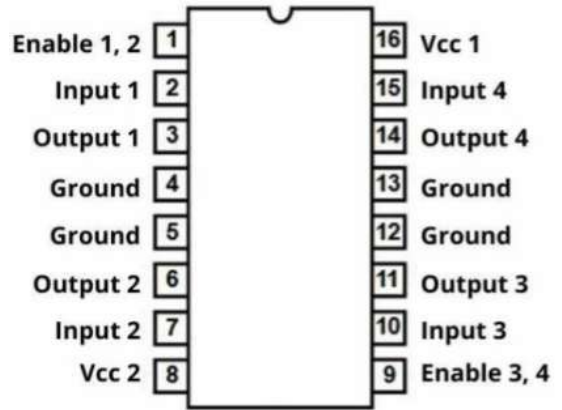
Зверніть увагу, що MX1508 і L298N - це два різні драйвери двигуна, і кожен з них має свої характеристики та переваги. MX1508 характеризується невеликими розмірами та здатністю керувати двигунами з невеликими струмами та напругою, що робить його придатним для невеликих проектів та робототехніки. L298N, з іншого боку, має вищий максимальний струм і напругу живлення, що робить його більш потужним і придатним для більших додатків та моторів.

Для керування двигунами робота необхідний пристрій, який би перетворював керуючі сигнали малої потужності в струми, достатні для керування моторами. Такий пристрій називають драйвером двигунів. Існує досить багато різних схем для управління електродвигунами. Вони відрізняються як потужністю, так і елементною базою, на основі якої вони виконані.

Ми зупинимося на найпростішому драйвері керування двигунами, виконаному у вигляді повністю готової до роботи мікросхеми. Ця мікросхема називається L293D і є однією із найпоширеніших мікросхем, призначених для цієї мети. Призначення висновків L293D наведено на рис. 2.9б, а загальний вигляд на рисунку 2.9а.



а)



ю)

Рисунок 2.9 – Мікросхема L293D. [46]

Опис та призначення висновків мікросхеми L293D (рис.2.9.б), представлені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Опис та призначення висновків мікросхеми L293D [47].

Пін	Призначення	Опис
1	2	3
1	EN1	Вхід роздільної здатності каналу 1 (Enable 1) - високий рівень дозволяє роботу каналу 1.
2	IN1	Вхід 1 каналу 1 (Input 1) - сигнал для каналу 1 вперед.
3	OUT1	Вихід 1 каналу 1 (Output 1) - сигнал, що надходить на мотор 1 вперед.
4	Vcc1	Живлення двигуна 1 (зазвичай 5 В).
5	Gnd	Загальний земельний провідник.
6	Gnd	Загальний земельний провідник.
7	OUT2	Вихід 2 каналу 1 (Output 2) - сигнал, що надходить на двигун 1 назад.
8	IN2	Вхід 2 каналу 1 (Input 2) - сигнал керування для каналу 1 назад.
9	EN2	Вхід роздільної здатності каналу 2 (Enable 2) - високий рівень дозволяє роботу каналу 2

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3
10	Vcc2	Живлення мотора 2 (зазвичай 5 В).
11	OUT3	Вихід 3 каналу 2 (Output 3) - сигнал, що надходить на двигун 2 вперед.
12	IN3	Вхід 1 каналу 2 (Input 3) - керуючий сигнал для каналу 2 вперед.
13	OUT4	Вихід 4 каналу 2 (Output 4) - сигнал, що надходить на двигун 2 назад.
14	IN4	Вхід 2 каналу 2 (Input 4) - сигнал для керування каналу 2 назад.
15	GND	Загальний земельний провідник.
15	Vcc	Живлення мікросхеми (зазвичай 5 В).

L293D містить відразу два драйвери для керування електродвигунами невеликої потужності (чотири незалежні канали, об'єднані в дві пари). Має дві пари входів для сигналів, що управляють, і дві пари виходів для підключення електромоторів. Крім того, L293D має два входи для включення кожного з драйверів. Ці входи використовуються для керування швидкістю обертання електромоторів за допомогою широтно модульованого сигналу (ШИМ або PWM).

L293D забезпечує поділ електроживлення для мікросхеми та для керованих нею двигунів, що дозволяє підключити електродвигуни з більшою напругою живлення, ніж у мікросхеми. Поділ електроживлення мікросхем і електродвигунів може бути також необхідний зменшення перешкод, викликаних кидками напруги, пов'язаними з роботою моторів).

Принцип роботи кожного з драйверів, що входять до складу мікросхеми, є ідентичним, тому розглянемо принцип роботи одного з них, як показано на рис. 2.10.

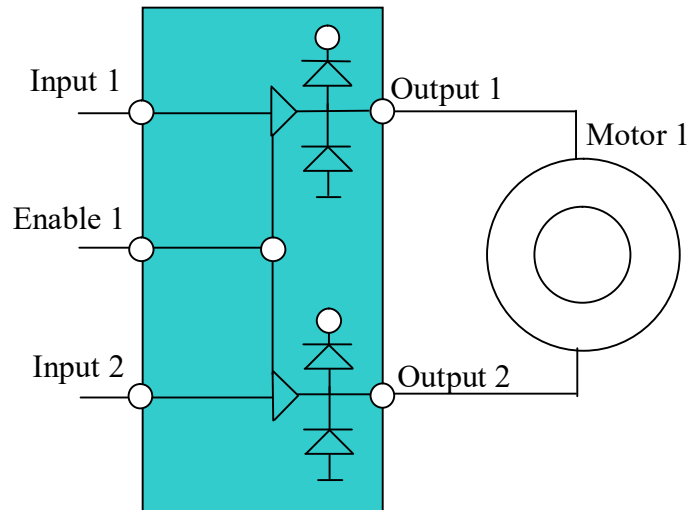


Рисунок 2.10 – Принцип роботи драйвера двигуна L293D

До виходів OUTPUT1 та OUTPUT2 підключимо електромотор MOTOR1.

На вхід ENABLE1, що включає драйвер, подамо сигнал (з'єднаємо з позитивним полюсом джерела живлення +5V). Якщо при цьому на входи INPUT1 та INPUT2 не подаються сигнали, то двигун обертається не буде.

Якщо вхід INPUT1 з'єднати з позитивним полюсом джерела живлення, а вхід INPUT2 з негативним, то мотор почне обертатися.

Тепер спробуємо з'єднати вхід INPUT1 із негативним полюсом джерела живлення, а вхід INPUT2 – із позитивним. Двигун почне обертатися в інший бік.

Спробуємо подати сигнали одного рівня відразу на обидва керуючі входи INPUT1 і INPUT2 (з'єднати обидва входи з позитивним полюсом джерела живлення або з негативним) - двигун не обертатиметься.

Якщо ми приберемо сигнал із входу ENABLE1, то за будь-яких варіантів наявності сигналів на входах INPUT1 і INPUT2 мотор обертається не буде.

Схема підключення драйвер двигуна L298N до плати Arduino Uno для реалізації системи управління 2WD представлена на рис. 2.11.

Уявити краще принцип роботи драйвера двигуна можна, розглянувши таблицю 2.7

Таблиця 2.7. – Принцип керування подачами сигналів на драйвер двигуна на базі мікросхеми L293D.

ENABLE1	INPUT1	INPUT2	OUTPUT1	OUTPUT2
1	0	0	0	0
1	1	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

Проведемо порівняльний аналіз апаратного забезпечення середнього рівня системи керування (рис.2.1). На цьому рівні знаходяться такі структурні елементи мобільних роботів:

- контролер середнього рівня;
- модуль датчиків;
- серводвигуни для керування положенням камери.

Розглянемо кожен структурний елемент з погляду його апаратної реалізації та порівняння їх характеристик.

Контролер середнього рівня для мобільного робота відіграє важливу роль в управлінні та координації різними аспектами його функціональності. Цей компонент є своєрідним мозком мобільної платформи та забезпечує високий рівень інтеграції та обробки даних для ефективного виконання завдань. Ось кілька ключових аспектів, які слід враховувати під час розгляду контролера середнього рівня для мобільного робота:

- інтеграція датчиків та актуаторів: Контролер середнього рівня зазвичай забезпечує інтерфейс для підключення та керування різними датчиками, такими як камери, лідари, інфрачервоні датчики, акселерометри та гіроскопи. Ці датчики надають роботу інформацію про його оточення та дозволяють йому приймати рішення на основі зібраних даних;

- алгоритми обробки даних: Контролер середнього рівня виконує обробку даних від датчиків та застосовує алгоритми для аналізу та інтерпретації цієї інформації. Наприклад, він може виявляти перешкоди, визначати розташування робота в просторі і планувати його рух на основі цієї інформації;

- планування та навігація**): Контролер середнього рівня розробляє стратегії та алгоритми для навігації робота у навколишньому середовищі. Це включає створення карти навколишнього середовища, планування маршруту і управління рухом робота для досягнення цілей завдання;

- керування актуаторами: Контролер середнього рівня керує актуаторами робота, такими як мотори, серводвигуни та маніпулятори. Він перетворює рішення, прийняті на основі даних та алгоритмів, у команди для актуаторів, щоб реалізувати бажану поведінку робота;

- інтеграція з високорівневим управлінням: Контролер середнього рівня часто взаємодіє з високорівневою системою управління, яка може надавати завдання та цілі для робота. Це дозволяє реалізувати управління на різних рівнях абстракції та координувати дії робота;

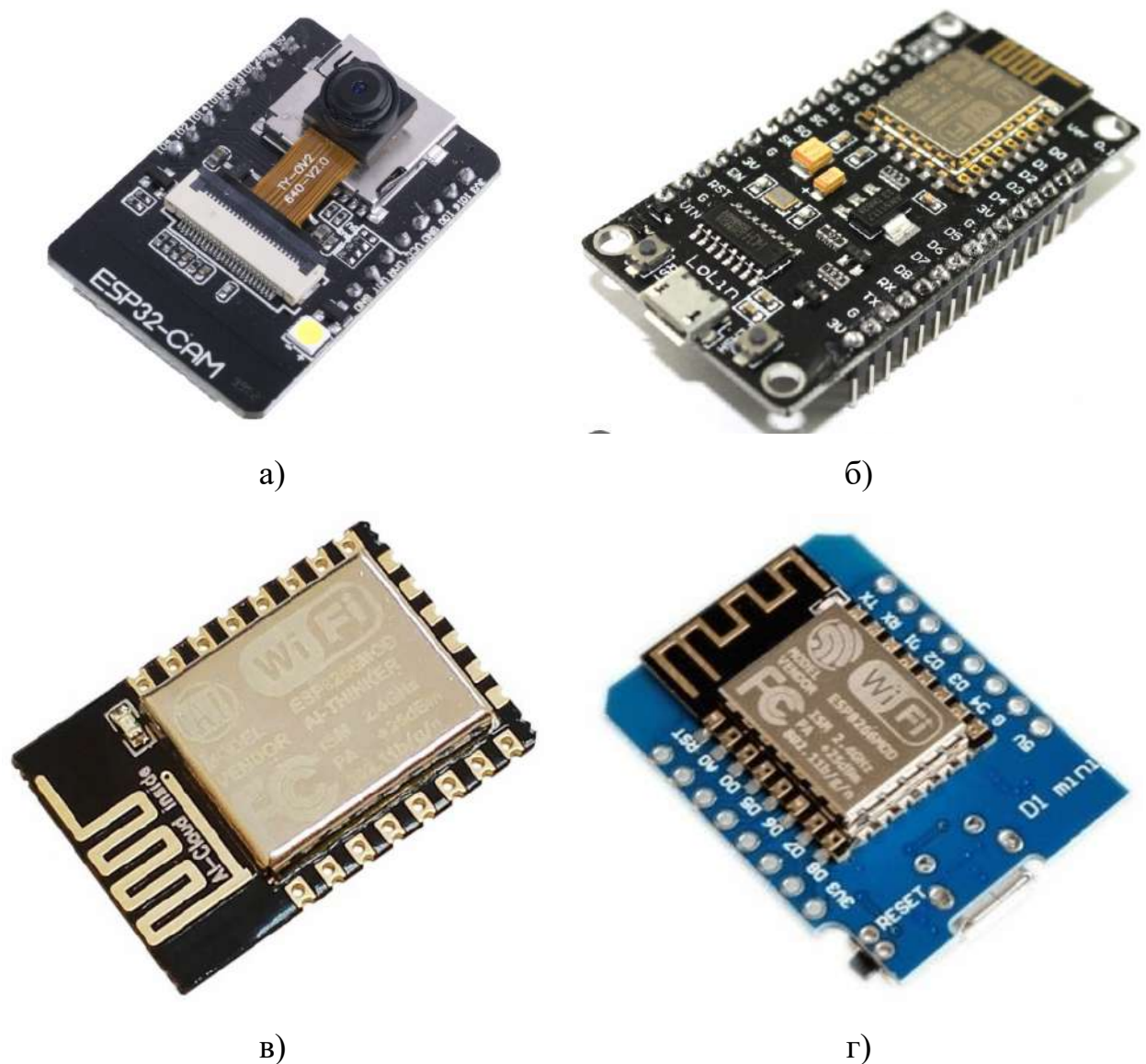
- забезпечення відмовостійкості: Контролер середнього рівня може бути спроектований з урахуванням відмовостійкості, що важливо для надійної роботи мобільного робота. Він може мати механізми виявлення та управління відмовами, а також резервування компонентів.

Контролер середнього рівня є ключовим компонентом у мобільних роботах, оскільки він поєднує дані від сенсорів та команди від високорівневої системи управління, забезпечуючи надійне та ефективне функціонування робота у різноманітних середовищах та завданнях. Його архітектура та функціональність можуть суттєво відрізнятися залежно від конкретних потреб та характеристик робота.

Проведемо аналіз та порівняння апаратних модулів, які можуть використовуватися в рамках розв'язання задач контролер середнього рівня.

Модулі ESP (Espressif Systems Products) – це сімейство мікроконтролерів та систем на кристалі (SoC) розроблених та вироблених компанією Espressif Systems. Ці модулі мають величезну популярність у світі розробки електроніки та вбудованих систем завдяки своїй надійності, доступності та можливостям бездротового зв'язку.[48]

Приклад поширених апаратних модулів сімейства ESP наведено на рис. 2.13



а) ESP32CAM [49]; б) ESP8266 [50];
в) ESP12E[]; г) WeMos (на базі ESP8266) [52].

Рисунок 2.13 – Апаратні модулі сімейства ESP

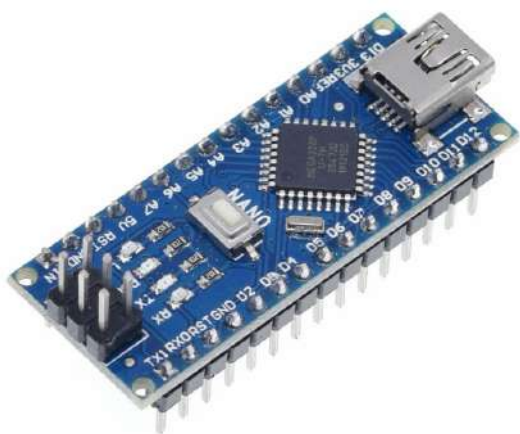
Порівняння технічних характеристик апаратних модулів сімейства ESP наведено у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Порівняння технічних характеристик апаратних модулів сімейства ESP

Характеристика	Модуль сімейства ESP			
	ESP32CAM [49]	ESP8266 [50]	ESP12E [51]	WeMos [52]
1	2	3	4	5
Технічні характеристики				
Мікроконтролер	ESP32	ESP8266	ESP8266	ESP8266
Частота процесора	160 MHz	80 MHz	80 MHz	80 MHz
Ядра процесора	Двоядерний (Tensilica)	Одноядерний (Tensilica)	Одноядерний (Tensilica)	Одноядерний (Tensilica)
Wi-Fi	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
Bluetooth	Bluetooth 4.2	Ні	Ні	Ні
Камера	Вбудована камера	Не підтримується	Не підтримується	Не підтримується
GPIO (загальне число)	36	17	17	17
Аналогові входи	18	1 (тільки ESP8266-12E)	1 (тільки ESP8266-12E)	1 (тільки ESP8266-12E)
Пам'ять (флеш)	4 MB	4 MB	4 MB	4 MB
Пам'ять (RAM)	520 KB	80 KB	80 KB	80 KB
USB	Мікро USB	Мікро USB	Мікро USB	Мікро USB
Підтримка середовищ розробки				
Підтримка Arduino IDE	+	+	+	+
Підтримка MicroPython	+	+	+	+
Підтримка Espressif IDF	+	+	+	+

Зверніть увагу, що ESP32CAM має вбудовану камеру та підтримує як Wi-Fi, так і Bluetooth, що робить його чудовим вибором для проектів, пов'язаних із зображеннями та комунікацією. ESP8266 та його модифікації (наприклад, ESP12E) є надійними мікроконтролерами для проектів з підключенням до Wi-Fi, але не мають вбудованої камери. WeMos – це один із брендів на основі ESP8266, що надає різні форм-фактори та додаткові модулі для зручності розробки. Вибір між цими мікроконтролерами залежить від конкретних потреб вашого робота та які завдання ви ставите перед ним.

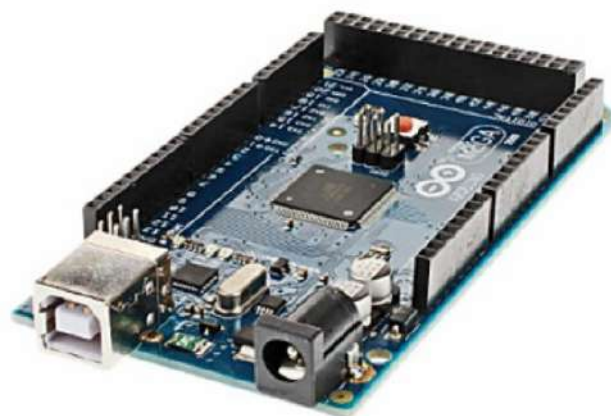
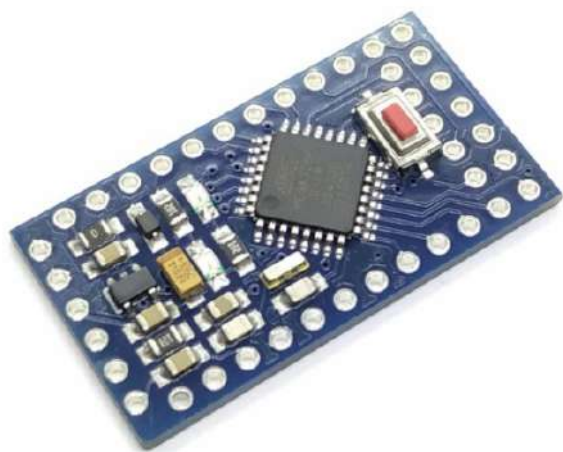
Сімейство Arduino - це популярна і широко використовується лінійка мікроконтролерів та платформ для розробки, створена для полегшення проектування та програмування вбудованих систем. Ці модулі та платформи надають зручні інструменти для електронних хобістів, інженерів та творців усіх рівнів досвіду. [53] Приклад поширених апаратних модулів сімейства Arduino наведено на рис. 2.14



а)



б)



в)

г)

а) Arduino Nano [54]; б) Arduino Uno [55];

с) Arduino Pro Mini [56]; г) Arduino Mega [57].

Рисунок 2.14 – Апаратні модулі сімейства Arduino

Порівняння технічних характеристик апаратних модулів сімейства Arduino наведено у таблиці 2.9

Таблиця 2.9 – Порівняння технічних характеристик апаратних модулів сімейства Arduino

Характеристика	Модулі сімейства Arduino			
	Arduino Nano [54]	Arduino Uno [55]	Arduino Pro Mini[56]	Arduino Mega [57]
1	2	3	4	5
Мікроконтролер	ATmega328P	ATmega328P	ATmega	ATmega2560
Частота процесора	16 МГц	16 МГц	8 МГц (3.3 В) или 16 МГц	16 МГц
Ядра процесора	Один	Один	Один	Один
Входи/Виходи (GPIO)	22	14	14	54
Аналогові входи	8	6	6	16
Розрядність	8-біт			
Пам'ять (флэш)	32 КБ	32 КБ	32 КБ	256 КБ

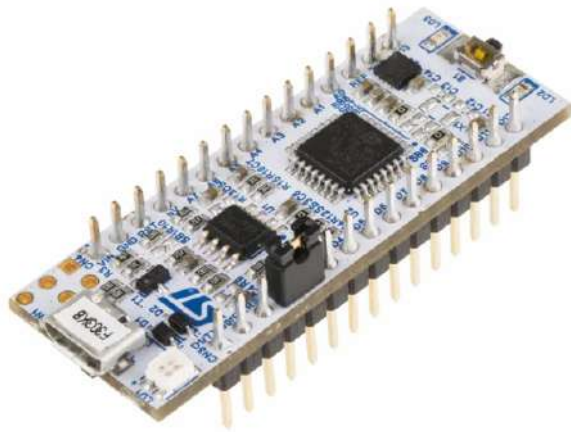
Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5
Пам'ять (RAM)	2 КБ	2 КБ	2 КБ	8 КБ
USB- підключення	Mini USB	USB Type-B	Ні	USB Type-B
Напруга живлення	5 В	5 В	3.3 В або 5 В	5 В
Інтерфейс UART	+	+	+	+
Інтерфейс I2C	+	+	+	+
Інтерфейс SPI	+	+	+	+

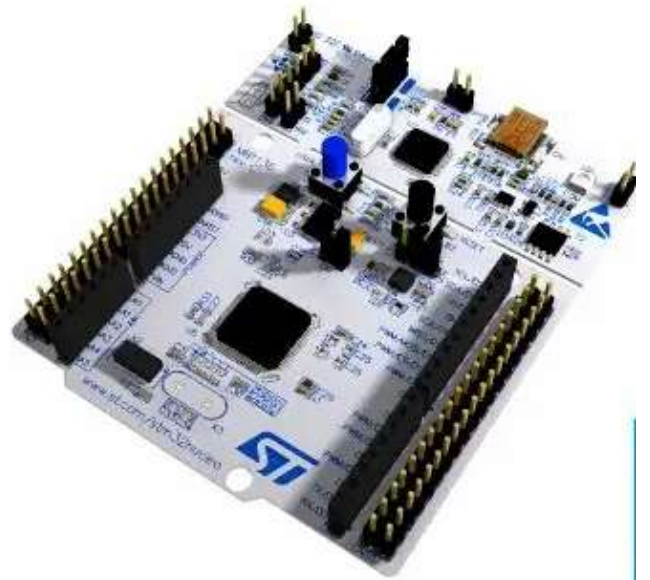
Зверніть увагу, що кожна з цих моделей Arduino має свої унікальні характеристики та особливості, що робить їх придатними для різноманітних завдань та проектів. Arduino Nano і Arduino Uno – це компактні моделі, що добре підходять для простих проектів і розробників-початківців. Arduino Pro Mini – це мініатюрна модель, яка може бути корисною в обмежених просторових умовах. Arduino Mega, з іншого боку, надає максимальну кількість GPIO-пінів та ресурсів, що підходять для більших і складніших додатків. Вибір моделі Arduino залежить від конкретних потреб вашого проекту та доступних ресурсів.

Сімейство мікроконтролерів STM32, розроблене компанією STMicroelectronics, є потужною і різноманітною лінійкою мікроконтролерів для вбудованих систем. Ці мікроконтролери відрізняються високою продуктивністю, широким набором периферійних інтерфейсів та гнучкою архітектурою, що робить їх популярними у багатьох додатках, від промислової автоматизації до електроніки для хобі [58].

Приклад поширених апаратних модулів сімейства STM32 наведені на рис. 2.15.



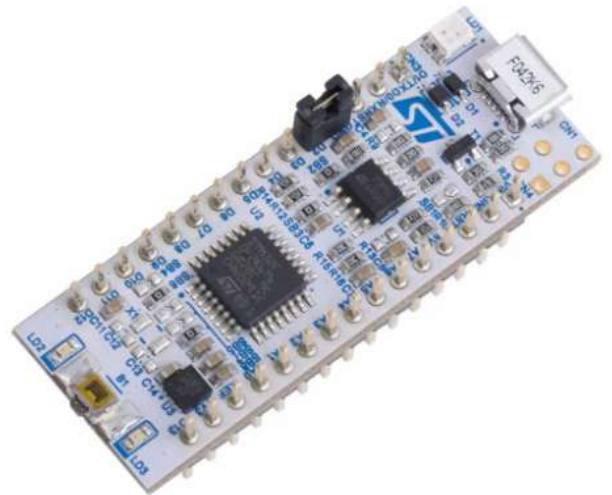
a)



б)



в)



г)

a) STMicroelectronics STM32 Nucleo-32 MCU [59]; б) NUCLEO-F030R8 [60];
с) STM32F103C8T6 [61]; г) NUCLEO-F042K6 (ST) [62].

Рисунок 2.14 – Апаратні модулі сімейства STM32

Порівняння технічних характеристик апаратних модулів сімейства STM32 наведено у таблиці 2.10

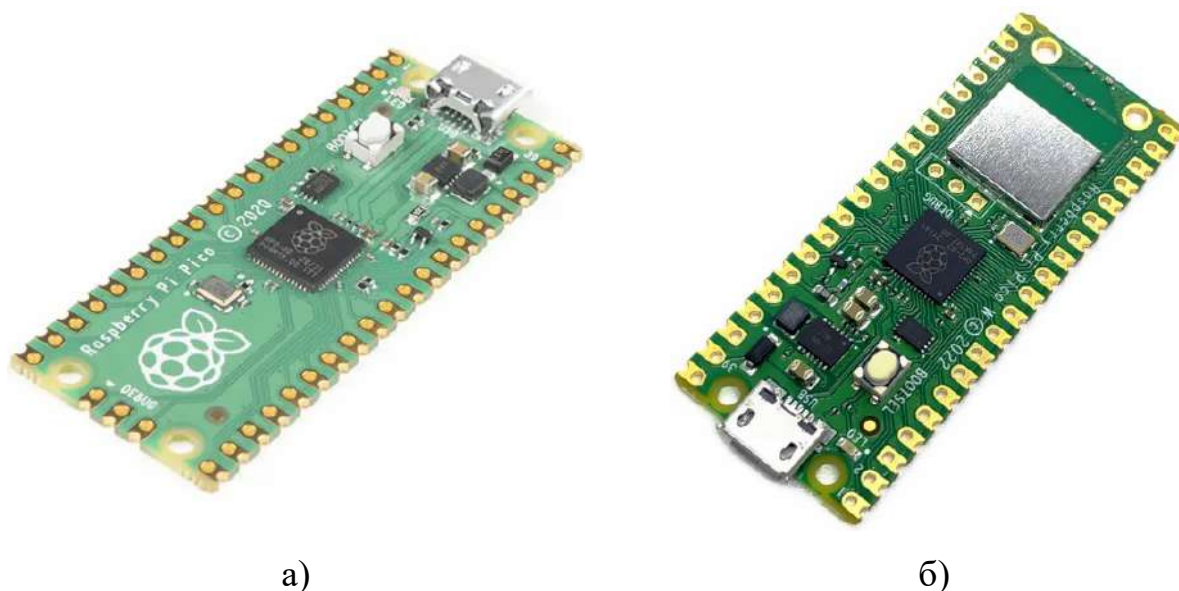
Таблиця 2.10 – Порівняння технічних характеристик апаратних модулів сімейства STM32.

Характеристика	Модуль сімейства STM32			
	STM32 Nucleo 32 [59]	NUCLEO- F030R8 [60]	STM32F103C8T 6[61]	Nucleo- F042K6[62]
1	2	3	4	5
Технічні характеристики				
Мікроконтролер	STM32F302R 8Т6	STM32F030R8Т 6	STM32F103C8Т 6	STM32F042К 6
Частота процесора	72 МГц	48 МГц	72 МГц	48 МГц
Ядра процесора	ARM Cortex- M4	ARM Cortex-M0	ARM Cortex-M3	ARM Cortex- M0
Входи/Виходи (GPIO)	32	32	37	32
Аналогові входи	14	12	10	12
Розрядність	32-бит			
Пам'ять (флеш)	64 КБ	64 КБ	64 КБ	32 КБ
Пам'ять (RAM)	16 КБ	8 КБ	20 КБ	6 КБ
USB- підключення	Микро USB			
Розмір	32 x 25 мм	32 x 50 мм	64 x 20 мм	32 x 50 мм
Напруга живлення	3.3 В			
Інтерфейс UART	+	+	+	+
Інтерфейс I2C	+	+	+	+
Інтерфейс SPI	+	+	+	+
Підтримка середовищ розробки				
Підтримка Arduino IDE	+	+	+	+
Підтримка STM32CubeIDE	+	+	+	+

Зверніть увагу, що ці моделі Nucleo базуються на різних мікроконтролерах STM32 з різними характеристиками. Вибір моделі

залежить від конкретних вимог вашого проекту, таких як продуктивність, кількість GPIO-пінів, аналогові входи та доступність периферійних інтерфейсів. Кожна з цих моделей може бути хорошим вибором, залежно від ваших вимог.

Raspberry Pi Pico - це недорога та компактна плата розробки, створена фондом Raspberry Pi. Ця мікроконтролерна плата надає розробникам доступ до багатого функціоналу, незважаючи на свою невелику вартість. Raspberry Pi Pico є потужним і доступним інструментом для створення різноманітних електронних проектів, і він став популярним серед спільноти розробників завдяки своїй гнучкості та підтримці. Загальний вигляд. [63] Raspberry Pi Pico представлений на рис. 2.15.



а) Raspberry Pi Pico [64]; б) Raspberry Pi Pico W [65].

Рисунок 2.15 – Сімейство Raspberry Pi Pico

Порівняння технічних характеристик апаратних модулів сімейства Raspberry Pi Pico наведено в таблиці 2.11

Таблиця 2.11 – Порівняння технічних характеристик апаратних модулів сімейства Raspberry Pi Pico.

Параметр	Raspberry Pi Pico [64]	Raspberry Pi Pico W [65]
Мікроконтролер	RP2040 (ARM Cortex-M0+)	RP2040 (ARM Cortex-M0+)
Вбудована Wi-Fi	Ні	2.4 GHz Wi-Fi 802.11b/g/n
Вбудована пам'ять	2 МБ Flash	
GPIO- піни	26 GPIO- пінів	
Частота процесора	133 МГц	
Підтримка інтерфейсів	UART, SPI, I2C, GPIO та інші	
Інтегрований USB	Так (USB 1.1)	
Джерело живлення	5В	
Розміри	51 мм x 21 мм	

Основна відмінність між Raspberry Pi Pico та Raspberry Pi Pico W полягає в наявності вбудованого Wi-Fi на Pico W. Це робить Pico W більш підходящим для проектів, що потребують бездротового зв'язку, в той час як звичайний Pico може бути використаний у проектах, що не вимагають Wi-Fi.

Обидва варіанти плати Pico мають аналогічну апаратну основу, включаючи мікроконтролер RP2040, вбудовану пам'ять, GPIO-піни та інші інтерфейси.

2.3 Класифікація модулів датчиків для роботів BEAM

Модулі датчиків для мобільних роботів можна класифікувати на основі різних критеріїв, включаючи тип сенсора, його застосування та функціональні характеристики. [66] Ось загальна класифікація модулів датчиків для мобільних роботів представлена на рис. 2.16.



Рисунок 2.16 – Класифікація модулів датчиків для мобільних роботів

Класифікація модулів датчиків для мобільних роботів може змінюватись в залежності від конкретних потреб проекту та завдань, які необхідно вирішити роботу.

Ось загальна класифікація модулів датчиків для мобільних роботів:

За типом сенсора:

- інфрачервоні (ІЧ) датчики: ІЧ-датчики використовують інфрачервоне випромінювання для вимірювання відстані або виявлення об'єктів. Вони можуть бути використані, наприклад, для уникнення зіткнень;

- ультразвукові датчики: Ультразвукові датчики вимірюють відстань, випромінюючи звукові хвилі та вимірюючи час, який вони витрачають на відображення від об'єкта;

- лазерні далекоміри: Ці датчики використовують лазерне випромінювання для точних вимірювань відстані та можуть бути корисними для навігації та картографії;

- датчики відео та камери: Камери та датчики відео можуть використовуватися для комп'ютерного зору, розпізнавання об'єктів та навігації на основі зображень;

- гіроскопи та акселерометри: Ці датчики вимірюють прискорення та орієнтацію робота і можуть використовуватися для стабілізації та визначення положення;

- Датчики звуку: Датчики звуку можуть використовуватися для виявлення звукових сигналів, наприклад, голосових команд або звукових сигналів від інших пристроїв.

Застосування:

- датчики уникнення зіткнень: Ці датчики призначені для виявлення об'єктів та перешкод у навколишньому середовищі та запобігання зіткненням;

- датчики лінії: Використовуються для прямування по лінії на підлозі, що корисно для роботів у змаганнях з трасування лінії;

- датчики кольору: Використовуються для розпізнавання кольорів і можуть бути корисними для завдань, таких як сортування об'єктів;

- датчики освітленості: Вимірюють рівень освітленості в навколишньому середовищі і можуть використовуватися для автоматичного регулювання яскравості світлодіодів або камер;

- датчики температури та вологості: Використовуються для вимірювання навколишніх умов, що може бути корисним, наприклад, для керування системою кондиціонування повітря.

За функціональними характеристиками:

- аналогові датчики: Вимірюють фізичні величини та видають аналоговий сигнал, який може бути перетворений на цифровий;

- цифрові датчики: Виводять цифровий сигнал, що полегшує їх використання з мікроконтролерами.

- комплексні датчики: Включають кілька функцій, наприклад, датчики IMU (інерційної міри прискорення), які об'єднують гіроскопи і акселерометри.

Проведемо аналіз параметрів модулів датчиків, які можуть використовуватися при розробці мобільних роботів.

За типом сенсора:

Інфрачервоні (ІЧ) датчики працюють на основі використання інфрачервоного випромінювання, яке є частиною електромагнітного спектра, що знаходиться за межами видимого світла людського ока. Ці датчики використовують інфрачервоне випромінювання для виявлення об'єктів, вимірювання відстані, температури та інших параметрів у навколишньому середовищі. Ось принцип роботи інфрачервоних датчиків у кількох ключових аспектах.:

- випромінювання та прийом інфрачервоних променів: ІЧ датчики зазвичай складаються з двох основних компонентів: джерела інфрачервоного випромінювання (інфрачервоний світлодіод, або ІЧ-світлодіод) та фотодетектора, здатного сприймати інфрачервоне випромінювання. ІЧ-світлодіод випромінює інфрачервоне світло у вигляді променів у напрямку об'єкта;

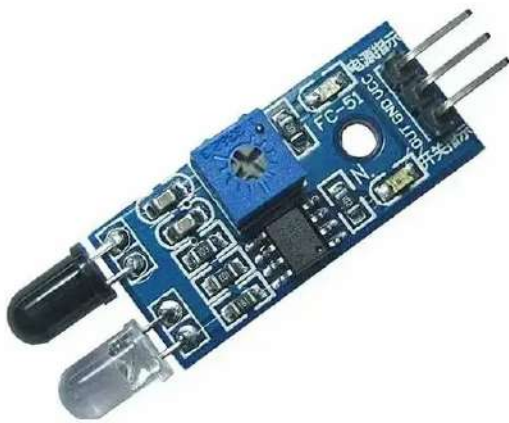
- відображення або випромінювання інфрачервоного випромінювання: Коли інфрачервоний промінь потрапляє на об'єкт, він може бути відбитий від об'єкта або поглинений ним, залежно від оптичних властивостей об'єкта. Відбиті промені повертаються до фотодетектор датчика;

- вимірювання часу польоту або інтенсивності: ІЧ-датчики можуть використовувати різні методи для вимірювання відстані або виявлення об'єктів. Наприклад, для вимірювання відстані вони можуть виміряти час, який потрібно променю для відображення від об'єкта та повернення до фотодетектора. Що довше час польоту, то далі знаходиться об'єкт. Інші датчики можуть вимірювати інтенсивність інфрачервоного випромінювання, яке повертається від об'єкта, щоб визначити такі властивості як температура;

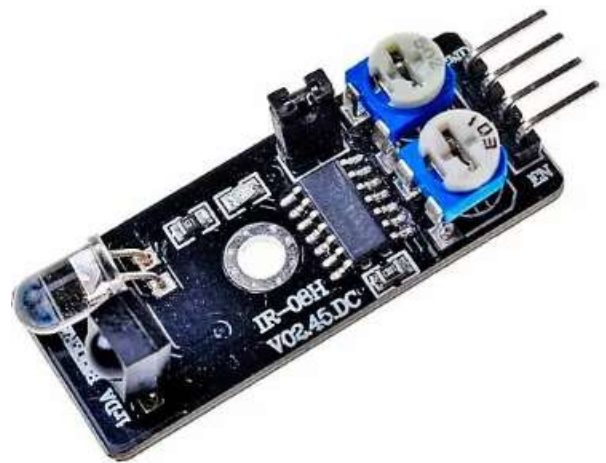
- фільтрація та обробка сигналу: Інфрачервоні датчики зазвичай обладнані фільтрами та електронікою для фільтрації та посилення сигналу. Це дозволяє збільшити чутливість та покращити точність вимірювань.

- вихідний сигнал: Результат вимірювання, оброблений та конвертований у відповідний вихідний сигнал (наприклад, аналоговий або цифровий), може бути використаний мікроконтролером або іншим пристроєм для прийняття рішень або виконання дій залежно від виявлених даних.

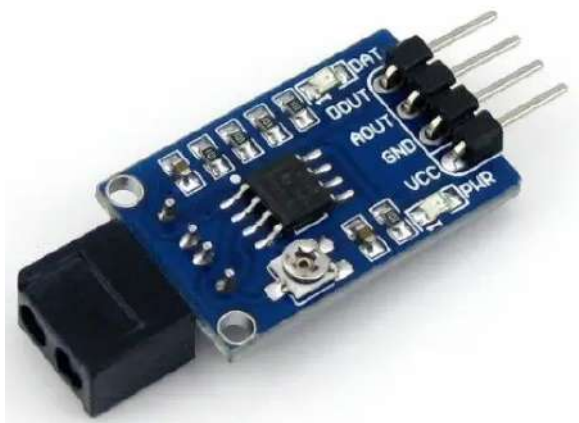
Загальний вигляд IR – датчиків наведено на рис. 2.17.



a)



б)



с)



д)

a) Інфрачервоний датчик перешкод для ARDUINO FC-51 [67];

b) Інфрачервоний датчик IR-08H [68];

c) Waveshare Інфрачервоний відбиваючий Датчик [69];

d) Модуль датчика ІЧ-випромінювання [70];

Рисунок 2.17 – Загальний вигляд ІР – датчиків.

Інфрачервоні датчики широко використовуються в різних областях, включаючи уникнення зіткнень у мобільних роботах, вимірювання температури в інфрачервоних термометрах, виявлення руху в системах безпеки та багато інших додатків, де необхідний вимірювання інфрачервоного випромінювання. Ці датчики дозволяють роботам взаємодіяти з навколишнім середовищем та приймати рішення на основі отриманих даних.

Порівняння технічних характеристик ІР – датчиків (рис.2.17.) наведено у таблиці 2.12

Таблиця 2.12 – Порівняння технічних характеристик ІР – датчиків.

Параметр	FC-51 [68]	IR-08H [69]	Waveshare [70]
Напруга живлення	3.3V - 5V	3.3V - 5V	3.3V - 5V
Діапазон виявлення (максимальне)	Кратне метрам	Залежить від моделі	Кілька метрів
Вихідний сигнал	Цифровий (1 або 0)	Аналоговий	Цифровий (1 або 0)
Робоча частота	-	-	-
Кут виявлення	35 градусів	100 градусів	-
Інтерфейс зв'язку	Аналоговий	Аналоговий	Цифровий (D0, D1)
Використовувана технологія	Інфрачервоний	Інфрачервоний	Інфрачервоний
Розміри (мм)	42 x 38	40 x 20	60x24

Ультразвукові датчики, також відомі як ультразвукові далекоміри або датчики відстані, працюють на принципі випромінювання та прийому ультразвукових хвиль. Вони використовують ультразвукові імпульси для вимірювання відстані до об'єктів та виявлення перешкод. Ось як це відбувається докладніше:

- випромінювання ультразвуку: Датчик генерує короткі ультразвукові імпульси, які надсилаються в напрямку об'єкта або просто в навколишній простір. Ці імпульси мають дуже високу частоту, найчастіше в діапазоні від 20 кГц до кількох сотень кГц, що знаходиться за межами здатності чути людське вухо;

- розсіювання та відображення ультразвуку: Ультразвукові хвилі поширюються у повітрі та стикаються з найближчими об'єктами на своєму шляху. Коли хвилі зіштовхуються з об'єктом, вони відбиваються від нього і починають рухатися до датчика;

- вимірювання часу польоту: Датчик фіксує час, що минув з моменту відправлення ультразвукового імпульсу до моменту його повернення (час польоту). Цей час вимірюється у мілісекундах або мікросекундах.

- розрахунок відстані: Виходячи з часу польоту та швидкості звуку в повітрі (яка приблизно дорівнює 343 метрам в секунду при кімнатній температурі), датчик обчислює відстань до об'єкта.

Сам датчик шумить набагато сильніше, тому міліметрову точність здобути абсолютно не проблема. Але є проблема в іншому: виконання коду блокується на час вимірювання, наприклад, на трьох метрах це буде 17 мс. Начебто й небагато, але для деяких завдань це буде дуже критично.

В діапазоні $-50.. 50^{\circ}\text{C}$ залежність є лінійною і апроксимується рівнянням:

$$V = 0.609 * t + 330.75$$

Ще один момент: швидкість звуку залежить від температури: за $+20^{\circ}\text{C}$ це 343 м/с, а за -20°C – 318 [м/с]. Адже це цілих $318/343=7\%$, що на відстані 1 метр дасть похибку 7 сантиметрів. Багато, набагато більше можливих похибок у вимірі.

Таким чином, для знаходження точної відстані з поправкою на температуру достатньо ділити час імпульсу на 58, До речі, звідки береться 58? Для проходження 1 м звуку знадобиться $1/343 = 0.0029$ с, або 2.915 мс.

Ми отримуємо час туди і назад, тому множимо ще на 2 і для сантиметрів – ще на 10 і отримуємо 58.3. Набагато зрозуміліше було б помножити час імпульсу на швидкість звуку та ділити навпіл.

Таким чином, для розрахунку відстані в міліметрах з урахуванням температури в °C отримаємо формулу:

$$S = us * V / 2000;$$
$$S = us * (0.609 * t + 330.75) / 2000;$$
$$S = us * (t * 6 / 10 + 330) / 2000.$$

Половина у знаменнику використовується тому, що ультразвукова хвиля проходить шлях туди та назад;

- видача виміряного значення: Результат виміру (відстань до об'єкта) зазвичай подається у вигляді цифрового значення, яке може бути передане мікроконтролеру або іншій пристрої для прийняття рішень або виконання певних дій залежно від виміряної відстані.

Ультразвукові датчики широко застосовуються у робототехніці, автомобільній промисловості, системах уникнення зіткнень, автономних роботах та інших додатках, де потрібний вимір відстані або виявлення об'єктів у навколишньому середовищі. Вони забезпечують надійний і точний вимір відстані за різноманітних умов експлуатації.

Загальний вигляд ультразвукових датчиків наведено на рис. 2.18.





а) US-015 [71]; б) HC-SR04 [72]; в) NU40C10T-1[73]; г) JSN-SR04T-2 V3[74]

Рисунок 2.18 – Загальний вигляд ультразвукових датчиків

Порівняння технічних характеристик ультразвукових датчиків (рис.2.18.) наведено у таблиці 2.13

Таблиця 2.13 – Порівняння технічних характеристик ультразвукових датчиків.

Параметр	US-015 [71]	HC-SR04 [72]	NU40C10T-1 [73]	JSN-SR04T- 2 V3 [74]
Напруга живлення	5 В	5 В	5 В	5 В
Діапазон вимірів	0.2 м - 7 м	2 см - 4 м	0.3 м - 5 м	2 см - 5 м
Дозвіл	-	-	-	-
Кут огляду	-	-	-	30 градусів
Вихідний сигнал	Аналоговий	Цифровий (два)	Цифровий (два))	Цифровий (два)
Розміри (мм)	Не вказано	45 x 20 x 15	45 x 20 x 15	45 x 20 x 15

Лазерні далекоміри, також відомі як лідари (від англійської "Laser Imaging Detection and Ranging"), працюють на основі принципу вимірювання часу, за який лазерне випромінювання поширюється від датчика до об'єкта і назад. Ці прилади використовують лазер для створення точних вимірів

відстані до об'єктів та для створення тривимірних карт навколишнього середовища. Ось як це відбувається докладніше:

- випромінювання лазерного променя: Лазерний далекомір починає роботу з надсилання дуже короткого імпульсу лазерного світла у бік об'єкта, який потрібно виміряти. Лазер генерує вузький та фокусований промінь.

- відображення лазерного променя: Лазерний промінь стикається з поверхнею об'єкта і відбивається від неї. Кут падіння та кут відображення визначаються оптичною системою далекоміра;

- вимірювання часу польоту: Після того, як лазерний промінь відображається від об'єкта, далекомір починає відраховувати час, який потрібно лазерному променю, щоб повернутися назад до детектора. Цей час польоту вимірюється з високою точністю, як частки наносекунди;

- розрахунок відстані: Знаючи швидкість світла (приблизно 299,792,458 метрів в секунду), далекомір обчислює відстань до об'єкта, множачи час польоту на половину швидкості світла. Формула для розрахунку відстані виглядає так:

$$\text{Відстань} = (\text{Швидкість світла} * \text{Час польоту}) / 2$$

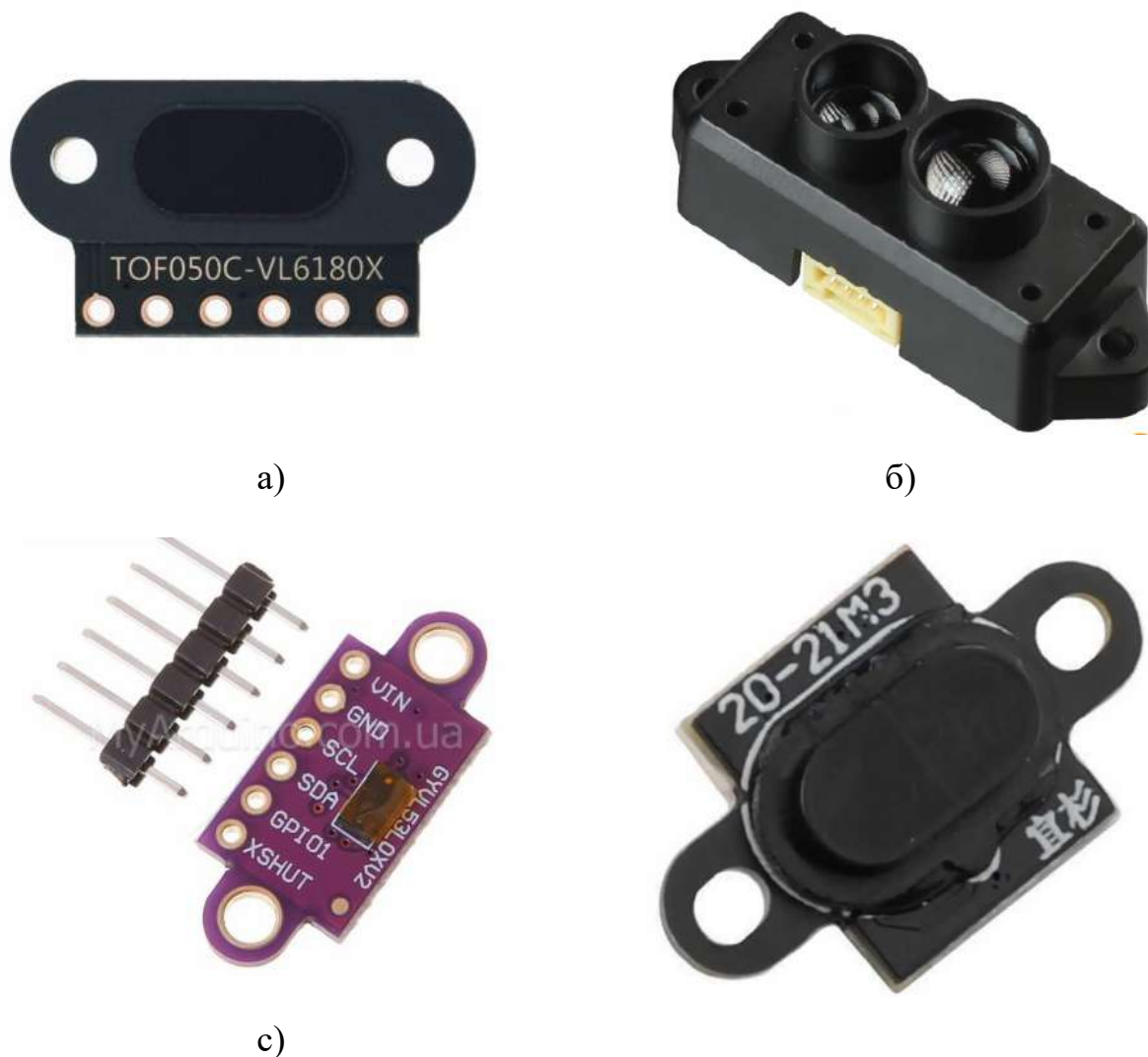
Половина використовується тому, що лазерний промінь проходить шлях туди та назад.

- Отримання точних вимірювань: Лазерні далекоміри здатні створювати точні вимірювання навіть на великі відстані з високою частотою оновлення даних. Вони можуть сканувати довкілля, вимірювати відстані до безлічі точок і створювати тривимірні карти, які можуть використовуватися для навігації, виявлення об'єктів та інших програм.

Лазерні далекоміри знайшли широке застосування в автомобільній промисловості (наприклад, для автоматичного паркування та систем автопілотування), робототехніки, картографії, архітектури та будівництва, а також у різних інженерних та промислових додатках. Їхня точність і

здатність працювати в різних умовах роблять їх важливим інструментом для сучасної техніки та технологій.

Загальний вигляд лазерних далекомірів наведено на рис. 2.19.



- а) Лазерний далекомір TOF050C-VL6180X [75]
- б) Далекімір Venewake LiDAR TFmini-S [76]
- с) Лазерний далекомір VL53L0XV2 [77]
- д) Далекімір Venewake LiDAR TF-LC02 [78]

Рисунок 2.19 – Загальний вигляд лазерних далекомірів

Порівняння технічних характеристик лазерних далекомірів (рис.2.19) наведено в таблиці 2.14

Таблиця 2.14 – Порівняння технічних характеристик лазерних далекомірів.

Параметр	Лазерні далекоміри			
	TOF050C-VL6180X[75]	Benewake LiDAR TFmini-S[76]	VL53L0XV2 [77]	LiDAR TF-LC02 [78]
1	2	3	4	5
Виробник	STMicroelectronics	Benewake	STMicroelectronics	Benewake
Принцип роботи	TOF (Time of Flight)	Лазерний	TOF (Time of Flight)	Лазерний
Діапазон вимірів	0.03 м - 1.2 м	0.1 м - 12 м	0.03 м - 2 м	0.1 м - 12 м
Дозвіл виміру	1 мм	1 см	1 мм	1 см
Максимальна частота виміру	30 Гц	1000 Гц	30 Гц	1000 Гц
Кут огляду	Не вказано	3.6 градуса	Не вказано	4.8 градуса
Комунікаційний інтерфейс	I2C	UART (RS232)	I2C	UART (RS232)
Напруга живлення	2.8 В - 3.6 В	4.5 В - 6 В	2.6 В - 3.5 В	5 В - 12 В
Струм, що споживається (в активному режимі)	10 мА	100 мА	20 мА	100 мА
Розміри (мм)	18.6 x 13.0 x 2.8	42 x 15 x 16	10.6 x 7.5 x 1.75	69 x 41 x 26
Вага (грам)	2	4	2	50

Зверніть увагу, що це загальні параметри, і конкретні характеристики можуть змінюватись в залежності від версії та виробника. Рекомендується звернутися до документації виробника або до специфікацій продукту для отримання більш детальної інформації про кожен модель.

Гіроскопи та акселерометри - це інерційні датчики, які використовуються для вимірювання руху та орієнтації об'єктів у тривимірному просторі. Вони є ключовими компонентами в різних технологічних пристроях, таких як смартфони, дрони, віртуальна реальність,

автономні автомобілі та багато інших. Ось як працюють гіроскопи та акселерометри:

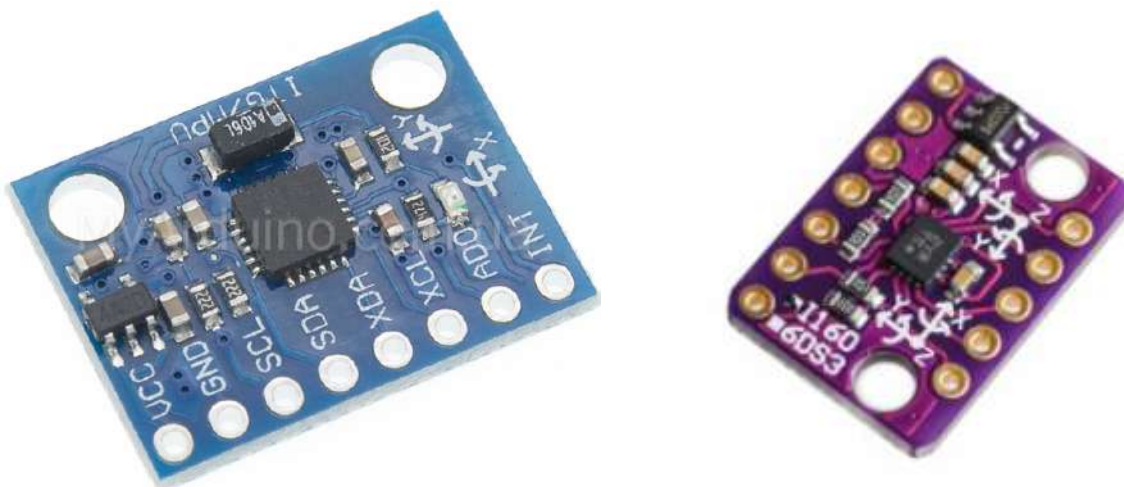
- **акселерометр** вимірює прискорення об'єкта по трьох осях: вздовж осей X, Y і Z. Прискорення - це зміна швидкості об'єкта з часом. Принцип роботи акселерометра заснований на законі інерції, згідно з яким об'єкт зберігає свою швидкість та напрямок руху, поки на нього не діє зовнішня сила. Акселерометр усередині пристрою містить масу (зазвичай звану масою-пружиною), яка пов'язана з датчиком. Під час руху пристрою маса змінює своє положення щодо датчика. Ці зміни вимірюються за допомогою електричної або механічної системи, яка перетворює їх на електричні сигнали. Шляхом інтегрування вимірянних прискорень за часом акселерометр може визначити швидкість об'єкта, а потім інтегруючи швидкість, можна розрахувати переміщення;

- **гіроскоп** вимірює кутову швидкість обертання об'єкта навколо осей. Основний принцип роботи гіроскопа заснований на законі збереження кутового моменту, згідно з яким об'єкт, що обертається, зберігає свою кутову швидкість і напрям обертання, поки на нього не діє момент сили. Існує кілька типів гіроскопів, але одним із найбільш поширених є мемс-гіроскоп (мікроелектромеханічний гіроскоп), який використовує зміну положення мікромеханічних структур при обертанні для вимірювання кутової швидкості.

Гіроскопи зазвичай мають три осі: Roll (обертання навколо поздовжньої осі), Pitch (обертання навколо поперечної осі) і Yaw (обертання навколо вертикальної осі). Гіроскоп вимірює кутові швидкості обертання об'єкта щодо осей. Він ґрунтується на законі збереження кутового моменту. Основним елементом гіроскопа є обертовий ротор або маса, що обертається. Коли об'єкт обертається, змінюється кутовий момент об'єкта, що викликає обертання ротора. За законом збереження кутового моменту зміна кутової швидкості ротора пропорційно кутової швидкості обертання об'єкта. Гіроскопи можуть бути механічними (з фізичним ротором, що обертається)

або мікроелектромеханічними (MEMS), що використовують ефект Коріоліса для вимірювання кутових швидкостей.

Загальний вигляд гіроскопів та акселерометрів наведено на рис. 2.20.



а)

б)

а) 3-осьовий гіроскоп акселерометр GY-521 M.U-6050[79]

б) Акселерометр та гіроскоп BMI160 [80].

Рисунок 2.20. – Модулі акселерометра та гіроскопа.

Гіроскопи та акселерометри можуть використовуватися в комбінації для створення інерційних вимірювальних пристроїв (IMU), які забезпечують повний вимір орієнтації та руху об'єкта у тривимірному просторі. Такі пристрої знаходять застосування в авіації для навігації та стабілізації, в мобільних пристроях для визначення орієнтації екрану та багатьох інших областях, де вимагається точне вимірювання руху та орієнтації.

Порівняння технічних характеристик модулів акселерометра та гіроскопа (рис.2.20) наведено у таблиці 2.15

Таблиця 2.15 – Порівняння технічних характеристик модулів акселерометра та гіроскопа GY-521 M.U-6050 и BMI160 .

Параметр	GY-521 (MPU-6050) [79]	BMI160 [80]
1	2	3
Виробник	InvenSense	Bosch Sensortec

Продовження таблиці 2.15

1	2	3
Принцип роботи	Гіроскоп та акселерометр	
Діапазон вимірювання гіроскопа	±250, ±500, ±1000, ±2000 градусів/сек	±125, ±250, ±500, ±1000, ±2000 градусів/сек
Діапазон вимірювання акселерометра	±2g, ±4g, ±8g, ±16g	±2g, ±4g, ±8g, ±16g
Інтерфейс зв'язку	I2C, SPI	I2C, SPI, UART
Выходной разрешающий класс гироскопа	16 біт	
Вихідний роздільний клас акселерометра	16 біт	
Частота оновлення даних	До 8 кГц	До 3.2 кГц
Вбудовані функції	Детекція руху, датчик температури	Детекція руху, крокомір, датчик температури
Напруга живлення	3.3 В - 5 В	1.65 В - 3.6 В
Струм, що споживається (в активному режимі)	Близько 3.9 мА (гіроскоп), 0.4 мА (акселерометр)	Близько 950 мкА (гіроскоп), 650 мкА (акселерометр)
Розміри (мм)	15.2 x 15.2	3.0 x 4.5

Обидва датчики, GY-521 (MPU-6050) і BMI160, є комбінованими гіроскопами і акселерометрами, які дозволяють вимірювати рух і орієнтацію об'єкта в тривимірному просторі. Вони мають схожі параметри, але можуть відрізнитися за діапазонами вимірювання та інтерфейсами зв'язку.

Датчик звуку, також відомий як мікрофон або акустичний сенсор, призначений для перетворення звукових коливань (звуку) на електричні сигнали. Принцип роботи датчика звуку ґрунтується на використанні фізичних властивостей звукових хвиль та їх впливу на певні матеріали чи пристрої. Ось як це відбувається докладніше:

- прийом звукових хвиль: Датчик звуку зазвичай включає пристрій, здатний реєструвати коливання повітря, які створюються звуком. Це може бути мембрана, п'єзокерамічний елемент чи інші акустичні компоненти;

- перетворення на механічні коливання: Коли звукові хвилі потрапляють на поверхню датчика, вони викликають механічні коливання або деформації всередині датчика. Це може бути стискання або розширення матеріалу в залежності від типу датчика;

- генерація електричного сигналу: Механічні коливання або деформації всередині датчика викликають зміни його електричних властивостей, таких як опір або ємність. Ці зміни в електричних характеристиках генерують електричний сигнал;

- посилення й обробка сигналу: Згенерований електричний сигнал зазвичай дуже слабкий і вимагає посилення для подальшої обробки. Це може містити в собі посилення сигналу та його фільтрацію для виділення окремих частот;

- вихідний сигнал: Після посилення й обробки сигнал подається на вихід датчика. Цей вихідний сигнал може бути використаний для різних цілей, таких як аналіз звуку, виявлення шумів, запис аудіо, розпізнавання голосу й інші задачі.

Загальний вигляд датчиків звуку наведено на рис. 2.21



а)



б)

а) МАХ4466 звуковий датчик [81]

б) Модуль датчику виявлення звуку КУ-037 [82]

Рисунок 2.21 – Загальний вигляд датчиків звуку

Порівняння технічних характеристик модулів акселерометра та гіроскопа (рис.2.20) наведено у таблиці 2.16

Таблиця 2.16 – Порівняння технічних характеристик модулів датчиків звуку МАХ4466 та КУ-037.

Параметр	МАХ4466 [81]	КУ-037 [82]
Тип датчика	Електретний мікрофон	Мікрофонний модуль із виявленням звуку
Напруга живлення	2.4 В - 5.5 В	4 В - 6 В
Вихідна напруга	Аналоговий сигнал	Цифровий сигнал
Чутливість	Высокая	Низька
Діапазон частот	20 Гц - 20 кГц	50 Гц - 20 кГц
Посилення	Настроюване	Ні
Регулювання посилення	Підстроювальний резистор	Не застосовується
Інтерфейс зв'язку	Аналоговий	Цифровий (підключається до піна з перериванням)
Наявність комплектуючих	Подавитель шума	-
Застосування	Захоплення аудіо сигналу, звуковий аналіз	Виявлення звуку, активація шуму

Обидва датчики призначені для обробки аудіосигналів, але у них різні характеристики та застосування. МАХ4466 є електретним мікрофоном з високою чутливістю і можливістю налаштування посилення. Він часто використовується для захоплення аудіосигналу та звукового аналізу. КУ-037 – це модуль з виявленням звуку, який видає цифровий сигнал залежно від наявності звукових коливань. Він може використовуватися для активації шуму або виявлення звукових подій.

Застосування:

Датчики лінії - це спеціалізовані сенсори, розроблені для виявлення та проходження за лініями на поверхні, такими як маркування на дорозі, траси на роботі для змагань та багато інших додатків. Вони відіграють важливу

роль в автономних системах, забезпечуючи точну навігацію та керування роботами та пристроями вздовж заздалегідь заданих шляхів.

Загальний вигляд датчиків звуку наведено на рисунку 2.22



а)

б)

а) Датчик лінії KY-033/HW-511 [83]

б) Датчик лінії TCRT5000 [84]

Рисунок 2.22 – Датчик лінії

Датчик лінії KY-033/HW-511 (TCRT5000) є оптичним датчиком, який використовує інфрачервоні (ІЧ) світлодіоди та фоторезистори для виявлення ліній на поверхні. Ось принцип його роботи:

- інфрачервоні світлодіоди: Датчик зазвичай має два інфрачервоні світлодіоди, один праворуч і один ліворуч від центрального датчика. Ці світлодіоди випромінюють інфрачервоне світіння на поверхню, яку сканує датчик;

- фоторезистори: Поруч із кожним інфрачервоним світлодіодом знаходиться фоторезистор. Фоторезистори чутливі до інтенсивності світла та змінюють свій опір залежно від кількості інфрачервоного світла, яке потрапляє на них;

- виявлення лінії: Коли датчик переміщається над поверхнею з лінією, інфрачервоне світіння, що випромінюється світлодіодами, відбивається від поверхні і потрапляє на фоторезистори. Якщо лінія знаходиться між світлодіодами та фоторезисторами, то світло блокується, і фоторезистори реєструють зниження інтенсивності світла;

- аналіз сигналу: Мікроконтролер або інший пристрій, підключений до датчика, аналізує опір фоторезисторів та визначає, чи є лінія під датчиком. Якщо виявлена лінія, це може бути інтерпретовано як сигнал для керування рухом робота або іншого пристрою.

Порівняння технічних характеристик модулів акселерометра та гіроскопа (рис.2.22) наведено у таблиці 2.17

Таблиця 2.17 – Порівняння технічних характеристик модулів датчиків лінії KY-033/HW-511 и TCRT5000

Параметр	KY-033/HW-511 [83]	TCRT5000 [84]
Тип датчика	Оптичний датчик лінії	Оптичний датчик лінії
Інфрачервоні світлодіоди	2 ІЧ світлодіода (один ліворуч і один праворуч)	1 ІЧ світлодіод та 1 фототранзистор
Робоча дистанція	Зазвичай до 5 мм або ближче	Зазвичай кілька мм до кількох см
Дозвіл	Залежить від контролера та програми	Залежить від контролера та програми
Тип вихідного сигналу	Аналоговий	
Напруга живлення	Зазвичай 3.3 або 5 В	Зазвичай 5 В
Споживаний струм	Зазвичай низький (менше 10 мА)	Зазвичай низький (менше 20 мА)

Датчик лінії KY-033/HW-511 часто використовується в робототехніці для створення лінійних маршрутів та управління рухом роботів цими маршрутами. Шляхом аналізу даних від фоторезисторів, він може визначати, чи знаходиться робот на трасі або за її межами, і реагувати відповідним чином, наприклад, змінюючи напрямок руху, щоб слідувати по лінії.

Принцип роботи датчика кольору заснований на вимірюванні світлових характеристик, таких як колір, яскравість та інтенсивність світла, щоб визначити колір об'єкта чи поверхні. Існує кілька різних типів датчиків кольору, але один із найбільш поширених методів вимірювання заснований

на тріаді RGB (червоний, зелений, синій) та спектральних датчиках. Ось загальний принцип роботи датчика кольору:

- джерело світла: Датчик кольору зазвичай оснащений світлодіодами, які випромінюють світло різних кольорів. Ці світлодіоди можуть бути червоного, зеленого та синього кольорів, щоб створювати різні колірні спектри;

- випромінювання світла: Світлодіоди по черзі або одночасно випромінюють світло різних кольорів на поверхню, яку потрібно виміряти;

- відображення світла: Світло відбивається від поверхні об'єкта і потрапляє на датчик;

- детектування світла: Датчик має фотодіоди або фоторезистори, які вимірюють інтенсивність світла, що падає на них. Кожен датчик вимірює інтенсивність світла для кожної з трьох кольорних компонентів (червоний, зелений та синій), що дозволяє отримати інформацію про колір об'єкта;

- аналіз та інтерпретація даних: Отримані дані про яскравість та колір для кожної з компонентів перетворюються на числові значення або коди, які можна використовувати для визначення кольору об'єкта за допомогою алгоритмів обробки даних;

- порівняння з опорними значеннями: Для визначення точного кольору об'єкта датчик порівнює отримані дані із заздалегідь заданими опорними значеннями кольорів, які зберігаються в пам'яті або програмному коді. За збігом з опорними значеннями визначається колір об'єкта.

Загальний вигляд датчиків кольору наведено рис. 2.23. Порівняння технічних характеристик модулів акселерометра та гіроскопа (рис.2.23) наведено у таблиці 2.18



а)

а) Модуль датчика кольору GY-31 [85]



б)

б) Датчик розпізнавання кольору TCS34725[86]

Рисунок 2.23 – Загальний вигляд датчиків розпізнавання кольору

Таблиця 2.18 – Порівняння технічних характеристик датчиків розпізнавання кольорів GY-31 та TCS34725

Параметр	Датчики розпізнавання кольору	
	GY-31[85]	TCS34725[86]
1	2	3
Принцип роботи	Датчик світлочутливості на основі фотодіодів, спектральний вимір	
Діапазон вимірювання спектру	330 нм - 1050 нм	400 нм - 700 нм
Здатність	Залежить від моделі, але зазвичай низька роздільна здатність	Висока роздільна здатність (16 бит)
Інтегровані світлодіоди	Є	Ні

Продовження таблиці 2.18.

1	2	3
Динамічний діапазон	Залежить від моделі, але зазвичай низький динамічний діапазон	Широкий динамічний діапазон
Точність вимірювання кольору	Обмежена	Висока
Вимірювання освітленості	Так	Так
Інтерфейс	Аналоговий	Цифровий
Напруга живлення	Зазвичай 3.3 або 5 В	
Застосування	Загальне вимірювання кольору та освітленості, але з обмеженою точністю	Професійне вимірювання кольору та освітленості з високою точністю

Обидва датчики, GY-31 і TCS34725, призначені для вимірювання кольору та освітленості, але вони мають різні характеристики та продуктивність. TCS34725, розроблений компанією Adafruit, зазвичай має більш високу точність вимірювання кольору та освітленості, а також широкий динамічний діапазон. Він також забезпечує високу роздільну здатність вимірювання кольору завдяки своїй 16-бітній архітектурі. GY-31 може використовуватися для загальних завдань вимірювання кольору та освітленості, але він зазвичай має обмежену точність і роздільну здатність.

Принцип роботи датчика освітленості заснований на вимірюванні інтенсивності світла, що падає на фоточутливий елемент (фоторезистор, фотодіод, фототранзистор і т. д.), і перетворення цієї інтенсивності в електричний сигнал. Залежно від типу датчика освітленості принцип роботи може трохи відрізнятися, але основний процес залишається загальним.

Ось основний принцип роботи датчика освітленості:

- фоточутливий елемент: Датчик освітленості містить фоточутливий елемент, який здатний реагувати на світло. Цей елемент може бути

виконаний як фоторезистор, фотодіод, фототранзистор або інший фоточутливий пристрій;

- випромінювання світла: Світло з довкілля чи джерела освітлення падає на фоточутливий елемент;

-Зміна опору або струму: Під впливом світла фоточутливий елемент змінює свій опір (у разі фоторезисторів) або генерує струм (у разі фотодіодів та фототранзисторів). Зміна опору чи струму пропорційна інтенсивності падаючого світла;

- вимірювання та аналіз: Електричний сигнал, створений фоточутливим елементом, потім вимірюється та аналізується за допомогою електронних компонентів, таких як підсилювачі та аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП), якщо це необхідно. Результат аналізу може бути представлений як аналогове чи цифрове значення, яке відповідає рівню освітленості;

- вихідні дані: Датчик освітленості видає вихідні дані, які можна використовувати для різних цілей, таких як автоматичне керування освітленням, регулювання яскравості дисплеїв, контроль автомобільних фар залежно від навколишнього світла та багато іншого.

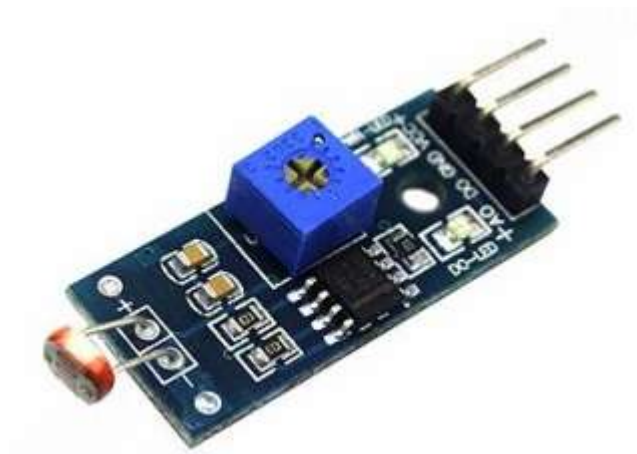
Загальний вигляд датчиків освітленості наведено на рис. 2.24



а)



б)



в)

а) Датчик освітленості ВН1750 (GY-302) [87]

б) Датчик освітленості ТЕМТ6000 [88]

в) Датчик освітленості 4 пін [89]

Рисунок 2.24 – Загальний вигляд датчиків освітленості

Порівняння технічних характеристик модулів акселерометра та гіроскопа (рис.2.24) наведено у таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Порівняння технічних характеристик датчиків освітленості ВН1750 (GY-302), ТЕМТ6000 та датчик освітленості 4 пін.

Параметр	Датчики освітленості		
	ВН1750 (GY302)[87]	ТЕМТ6000[88]	4 пін[89]
1	2	3	4
Принцип роботи	Оптичний (фоторезистор із ІЧ фільтром)	Оптичний (фоторезистор)	Оптичний (фоторезистор)
Діапазон виміру освітленості	0,11 - 100 000 люкс	Зазвичай до 10 000 люкс	Зазвичай до 10 000 люкс
Дозвіл	Залежить від моделі, але зазвичай висока роздільна здатність (1 люкс і менше)	Зазвичай низька роздільна здатність	Зазвичай низька роздільна здатність

Продовження таблиці 2.19

1	2	3	4
Інтерфейс	Цифровий	Аналоговий	Аналоговий
Напруга живлення	Зазвичай 3.3 або 5 В		
Точність виміру	Висока	Середня	Средн Середня яя
Час відгуку	Зазвичай швидко	Зазвичай середнє	Зазвичай середнє

Обидва датчики, ВН1750 (GY-302) та ТЕМТ6000, призначені для вимірювання рівня освітленості, але вони мають різні характеристики та продуктивність. ВН1750 зазвичай має високу точність вимірювання, високу роздільну здатність і цифровий інтерфейс, що робить його хорошим вибором для більш вимогливих додатків. ТЕМТ6000 зазвичай має більш низьку точність і роздільну здатність, але він може бути більш доступним і підходить для більш простих завдань вимірювання освітленості. Датчик освітленості 4-пінового типу зазвичай також надає середню точність та низьку роздільну здатність, а його вибір може залежати від конкретних вимог проекту та доступності на ринку.

Датчики температури працюють на основі різних фізичних та електронних принципів, щоб виміряти температуру навколишнього середовища чи об'єкта. Існує кілька типів датчиків температури, включаючи термістори, термопари, інфрачервоні датчики та напівпровідникові датчики. Давайте розглянемо основні принципи роботи деяких із них:

- Термістори: Термістори - це напівпровідникові пристрої, опір яких сильно залежить від температури. Існують два типи термісторів: NTC (негативний температурний коефіцієнт) та PTC (позитивний температурний коефіцієнт). У NTC-термісторів опір зменшується зі збільшенням температури, а PTC-термісторів - збільшується. Датчики температури на основі термісторів вимірюють опір і, знаючи залежність між опором та температурою, визначають поточну температуру;

- Термопари: Термопари складаються з двох різних металевих дротів, з'єднаних в одному кінці. Коли температура одного кінця термопари

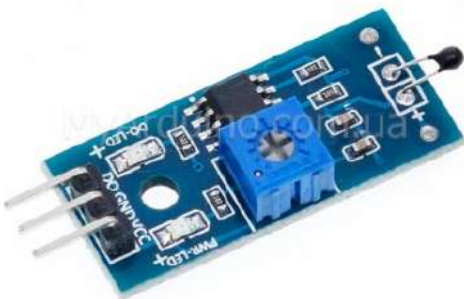
відрізняється від іншого, виникає різниця в електричному потенціалі між проводами, яка називається термоелектричною ЕРС. Ця ЕРС пропорційна різниці в температурі між кінцями термопари та може бути виміряна за допомогою вольтметра. Калібрування таблицями або рівняннями дозволяє визначити температуру виміряної ЕРС;

- інфрачервоні датчики: Інфрачервоні датчики температури (наприклад, датчики MLX90614) вимірюють інфрачервоне випромінювання об'єкта та використовують закон Стефана-Больцмана для визначення його температури. Вони мають вбудований інфрачервоний датчик та мікроконтролер для обробки даних;

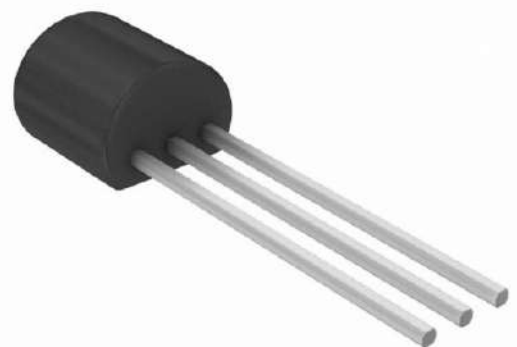
- напівпровідникові датчики: Напівпровідникові датчики температури (наприклад, LM35 або DS18B20) використовують зміну електричних характеристик напівпровідника зі зміною температури. Зазвичай вони видають напругу або цифровий сигнал, який перетворюється на температурне значення відомих калібруванням.

Принцип роботи датчиків температури заснований на вимірі зміни будь-яких фізичних властивостей, які залежать від температури, та їх перетворення на електричний сигнал. Результат виміру може бути виведений у вигляді напруги, опору, цифрових даних або іншого електричного параметра, який може бути інтерпретований для отримання поточної температури.

Загальний вигляд датчиків температури наведено на рис. 2.25



а)



б)

Продолжение таблицы 2.20

1	2	3	4	5
Дозвіл	0.1°C (для КУ-028 з перетворювачем)	Ні	Температура: 1°C, Вологість: 1%	0.1°C
Інтерфейс	Цифровий	Аналоговий	Цифровий	Аналоговий
Напруга живлення	Зазвичай 3.3 або 5 В	Зазвичай 3.3 або 5В	Зазвичай 3.3 або 5 В	Зазвичай 3.3 або 5 В

Кожен із цих датчиків має свої особливості та характеристики, і вибір між ними залежатиме від конкретних вимог вашого проекту, таких як точність вимірювання, тип вимірюваної величини та інтерфейс взаємодії з мікроконтролером.

Датчики вологості (або гігродатчики) призначені для вимірювання вологості у навколишньому середовищі. Існує кілька різних принципів роботи гігродатчиків, і деякі з них:

- гігродатчики на основі полімерних матеріалів: Ці датчики виготовляються з полімерних матеріалів, які змінюють свої властивості (наприклад, провідність або постійну діелектричну) залежно від вологості. Коли вологість навколишнього середовища змінюється, матеріал у датчику розширюється або стискається, що призводить до зміни його електричних характеристик. Ці зміни потім вимірюються і перетворюються на значення вологості;

- капаситивні гігродатчики: Капаситивні гігродатчики вимірюють вологість, вимірюючи зміну ємності конденсатора, що знаходиться всередині датчика. Вологість повітря впливає на постійну діелектричну між пластинами конденсатора, що змінює його ємність. Ці зміни ємності вимірюються та інтерпретуються як рівень вологості;

- терморезистори: Гігродатчики на основі терморезисторів змінюють свій опір залежно від вологості. Вологість повітря впливає тепловідведення від

нагрівального елемента до навколишнього середовища, що змінює опір терморезистора. Зміни опору визначають зміни рівня вологості;

- вимірювання ваги: Деякі гігродатчики використовують метод зважування для вимірювання вологості. Вони порівнюють вагу об'єкта (наприклад, вологої та сухої землі) та визначають різницю у вазі, що дозволяє визначити вологість;

- п'єзоелектричні гігродатчики: ці датчики вимірюють зміну п'єзоелектричного сигналу при дії вологості. Вологість змінює механічну напругу всередині датчика, що впливає на його п'єзоелектричні властивості.

- оптичні гігродатчики: ці датчики вимірюють зміну оптичних властивостей матеріалу (наприклад, заломлення світла) залежно від вологості. Ефект може вимірюватися за допомогою світлового джерела та фотодетектора.

Загальний вигляд датчиків вологості (або гігродатчики) наведено на рис. 2.26



а)



б)

а) Гігрометр (датчик вологості ґрунту) [94]; б) АНТ10 [95]

Рисунко 2.26 – Загальний вигляд датчиків вологості (або гігродатчики).

Датчики вологості, або гігродатчики, мають безліч застосувань у робототехніці. Вони дозволяють роботам збирати інформацію про вологість навколишнього середовища, що може бути корисним для прийняття рішень

та виконання різних завдань. Ось кілька прикладів використання гігродатчиків у робототехніці:

- керування роботом у вологих умовах: Гігродатчики можуть допомогти роботам адаптуватися до вологих або дощових умов. Роботи можуть використовувати інформацію про вологість для регулювання швидкості руху, управління стабільністю та уникнення слизькості;

- сільськогосподарські роботи: У сільському господарстві роботи можуть використовувати гігродатчики для вимірювання вологості ґрунту. Це дозволяє визначити оптимальний час для поливу, керувати системами автоматичного поливу та оптимізувати процеси догляду за рослинами;

- вимірювання вологості всередині будівель: Роботи, що використовуються для моніторингу та обслуговування будівель, можуть оснащуватися гігродатчиками для вимірювання вологості всередині приміщень. Це важливо для підтримки комфортних умов для мешканців та запобігання пошкодженням матеріалів.;

- метеорологічні роботи: Роботи, призначені для збирання метеорологічних даних та дослідження навколишнього середовища, можуть використовувати гігродатчики для вимірювання вологості повітря. Ця інформація корисна для прогнозування погоди та аналізу кліматичних змін;

- роботи для охорони та безпеки: Гігродатчики можуть допомогти роботам визначати витoki води або вологі плями, що може свідчити про потенційні проблеми, такі як протікання або пошкодження інфраструктури. Роботи можуть використовувати цю інформацію для реагування на надзвичайні ситуації;

- роботи для дослідження підводного світу: Гігродатчики, спроектовані для роботи під водою, можуть вимірювати вологість води та інші параметри навколишнього середовища в океанах та морях. Ці дані можуть бути важливими для досліджень підводних екосистем та геології.

За функціональними характеристиками:

Аналогові датчики, на відміну від цифрових, видають безперервний сигнал, який змінюється пропорційно до вимірюваної величини. Це означає, що аналогові датчики зазвичай надають аналогову напругу або опір, яка може бути інтерпретована як значення вимірюваної величини. Ось основні особливості та принципи роботи аналогових датчиків:

- безперервний вихід: Аналогові датчики надають безперервний вихідний сигнал, який може змінюватись у межах певного діапазону. Наприклад, датчик температури може видавати аналогову напругу, яка змінюється в залежності від температури;

- аналоговий діапазон: Аналогові датчики мають певний діапазон значень, у якому вони працюють. Наприклад, аналоговий датчик освітленості може мати діапазон вимірювання від 0 до 5, що відповідає різним рівням освітленості;

- висока роздільна здатність: Аналогові датчики зазвичай мають високу роздільну здатність, оскільки вони здатні надавати нескінченну кількість значень всередині свого діапазону. Роздільна здатність залежить від точності та якості самого датчика.

- перетворення сигналу: Для використання даних, отриманих від аналогових датчиків, їх сигнали часто повинні бути перетворені на цифровий формат за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП). АЦП вимірює аналогову напругу або опір і перетворює його на цифрове значення, яке може бути оброблено мікроконтролером.

Приклад видів сигналів наведено на рис. 2.27.

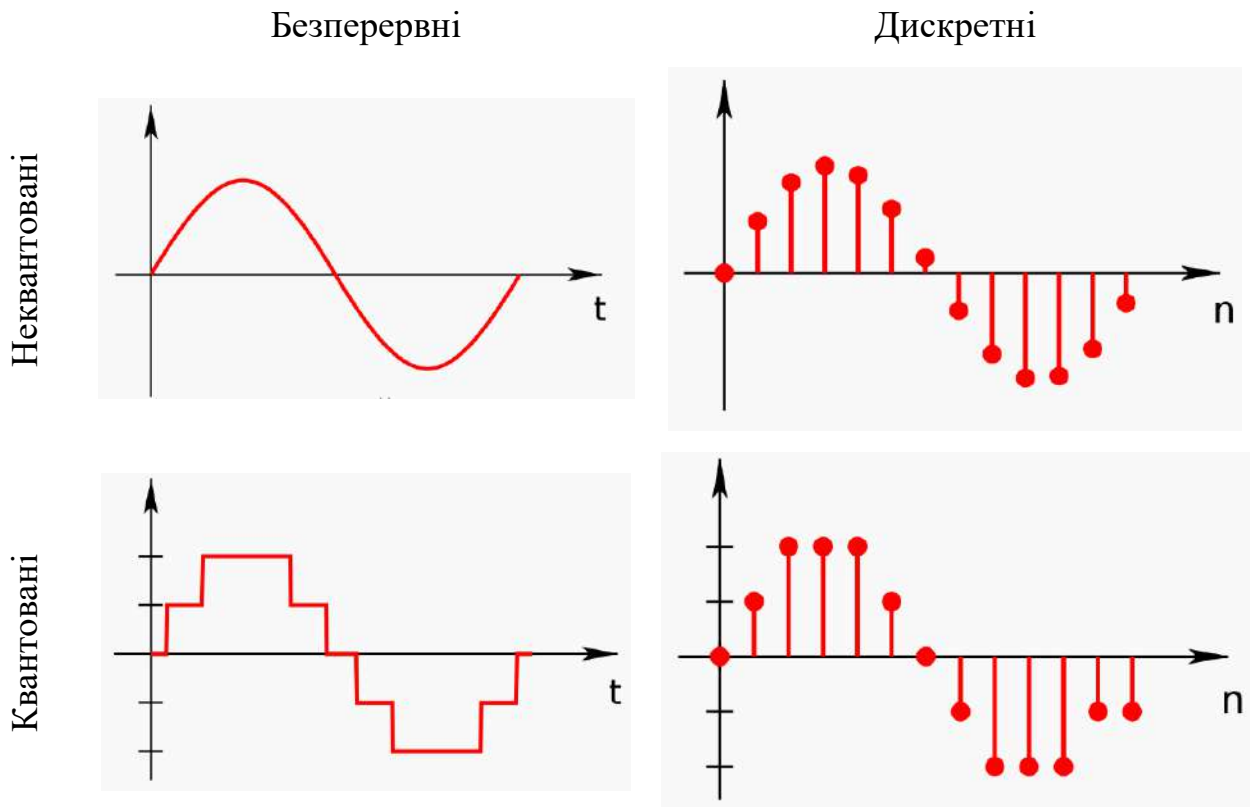


Рисунок 2.27 – Порівняння аналогового та цифрового сигналів

Цифрові датчики мають ряд характеристик і особливостей, які роблять їх важливими компонентами в сучасних технологіях та автоматизованих системах. Ось деякі з ключових особливостей роботи цифрових датчиків:

- **цифровий вихід:** Однією з головних особливостей цифрових датчиків є те, що вони надають дані у цифровій формі, що означає, що інформація виражена у вигляді бінарних чисел (0 та 1). Це робить їх більш зручними для обробки за допомогою мікроконтролерів та комп'ютерів;

- **межі та пороги:** Цифрові датчики часто мають задані порогові значення чи межі, які визначаються виробником чи програмно. Коли виміряне значення перевищує або знижується нижче цих порогів, датчик генерує цифровий сигнал, який можна використовувати для спрацьовування пристрою або системи;

- **висока точність і стабільність:** Багато цифрових датчиків мають високу точність вимірювань і стабільність у часі. Це дозволяє отримувати надійні та

передбачувані дані, що особливо важливо у критичних застосуваннях, таких як медична техніка та авіаційна промисловість;

- **просте калібрування:** Цифрові датчики часто можуть бути калібровані або налаштовані програмно. Це дозволяє коригувати вимірювання для обліку різних факторів, таких як температурні зміни або зовнішні впливи, та забезпечувати більш точні результати.

- **системи самодіагностики:** Деякі цифрові датчики мають функцію самодіагностики, що дозволяє їм контролювати свій стан та виявляти можливі несправності. Це сприяє підвищенню надійності системи, де вони використовуються.

- **цифровий зв'язок:** Цифрові датчики можуть легко інтегруватися в мережі та системи зв'язку, оскільки дані передаються у цифровому форматі. Це дозволяє дистанційно моніторити та керувати датчиками, а також інтегрувати їх в Інтернет речей (IoT) для збирання та аналізу даних.

- **ефективне керування енергією:** Багато цифрових датчиків спроектовані з урахуванням ефективного використання енергії. Вони можуть виходити в режим сну або виходити з режиму сну, що дозволяє збільшити термін служби батарей і знизити енергоспоживання.

Цифрові датчики відіграють ключову роль у різних галузях, включаючи промисловість, медицину, автомобільну промисловість, побутову техніку та IoT-додатки. Їх надійність, точність та зручність в обробці даних роблять їх невід'ємною частиною сучасних систем та пристроїв.

Комплексні датчики: іноді також звані мультисенсорними датчиками, об'єднують у собі кілька різних датчиків або датчних елементів для вимірювання та моніторингу різних параметрів навколишнього середовища. Вони мають ряд особливостей і переваг, які роблять їх корисними в різних галузях:

- **інтеграція різних функцій:** Комплексні датчики поєднують функції декількох датчиків в одному корпусі. Наприклад, вони можуть вимірювати

температуру, вологість, тиск, освітленість та інші параметри. Це спрощує процес збору даних та економить місце;

- синергетична інформація: Використання кількох датчиків дозволяє отримувати синергетичну інформацію. Наприклад, комбінування даних про температуру та вологість може дати більш точне уявлення про навколишнє середовище, ніж простий вимір кожного параметра окремо;

- зменшення складності системи: Замість установки та підключення декількох окремих датчиків, можна використовувати один комплексний датчик. Це скорочує кількість необхідних компонентів та спрощує розробку та обслуговування системи;

- сумісність та інтерфейси: Комплексні датчики часто надають різні інтерфейси, такі як I2C, SPI або UART, що полегшує інтеграцію з мікроконтролерами та мікропроцесорами;

- зниження енергоспоживання: Деякі комплексні датчики спроектовані з урахуванням ефективного використання енергії, що важливо для портативних автономних пристроїв.

2.4 Модулі для BEAM роботів

Модуль GPS (Global Positioning System) - у робототехніці має ряд важливих застосувань і надає роботам цінну інформацію про своє місцезнаходження та навколишнє середовище. Ось кілька основних причин, чому модуль GPS є важливим елементом у робототехніці:

- навігація: GPS дозволяє роботам визначати своє географічне положення з високою точністю. Це важливо для автономних роботів, таких як безпілотні автомобілі, безпілотні безпілотники та мобільні роботи, які повинні переміщатися різними місцями та виконувати завдання в різних навколишніх умовах;

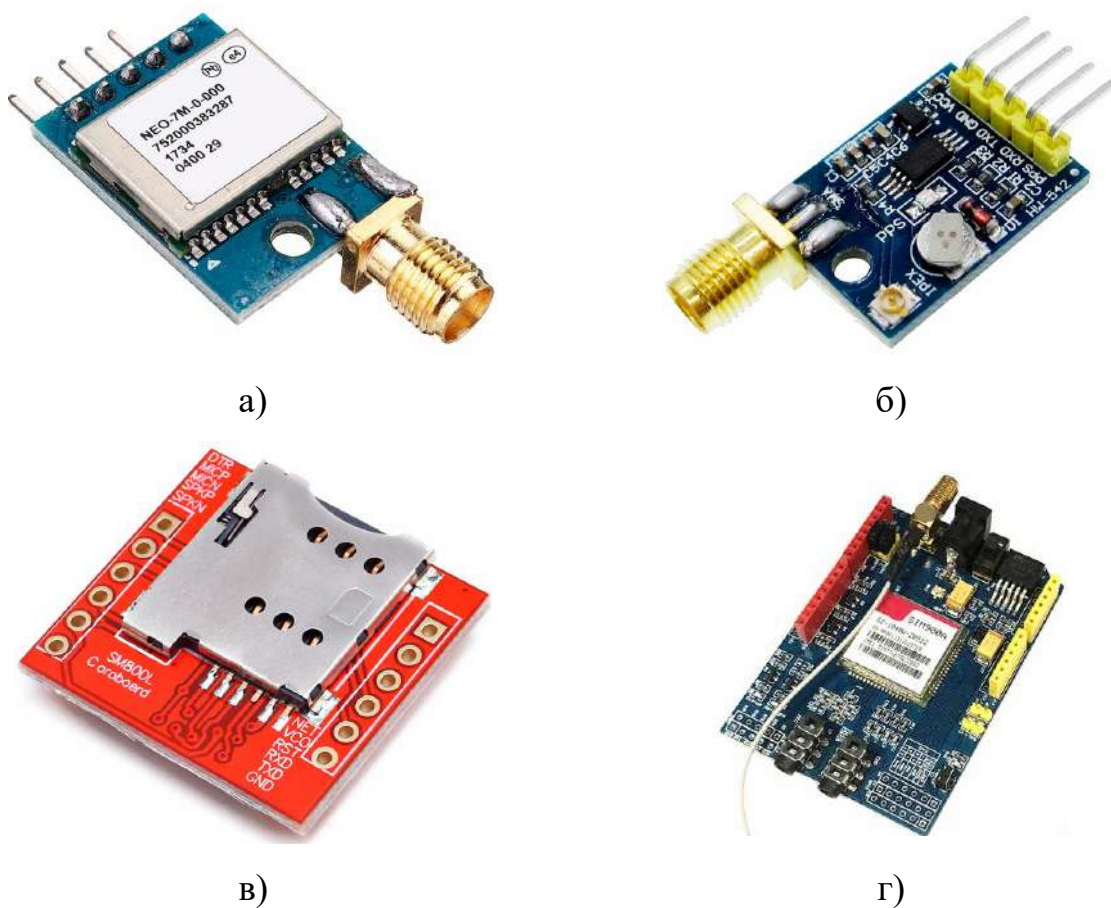
- планування маршруту: GPS-інформація дозволяє роботам створювати оптимальні маршрути для досягнення заданих цілей. Вони можуть

враховувати поточне розташування, мету, перешкоди та інші фактори, щоб вибрати найкращий шлях;

- геолокація: Роботи можуть використовувати GPS для визначення розташування об'єктів або подій на карті. Це корисно, наприклад, у сільському господарстві для управління сільськогосподарською технікою або пошуково-рятувальних операціях для пошуку людей у загублених місцях;

- геодезичні та дослідні завдання: У робототехніці GPS допомагає у виконанні геодезичних вимірів та дослідницьких місій, таких як дослідження місцевості, картографування або археологічні розкопки.

Приклад поширених модулів GPS наведено на рис. 2.28.



- а) Модуль GPS NEO-6M SMA+IPEX [96];
- б) Модуль GPS NEO-7M SMA+IPEX [97];
- в) Модуль GSM/GPRS SIM800L [98];
- г) Модуль GSM/GPRS SIM900A [99].

Рисунок 2.28 – Модулі GPS

Порівняння технічних характеристик модулів GPS (рис.2.28) наведено у таблиці 2.21.

Таблиця 2.21 – Порівняння технічних характеристик модулів GPS

Характеристика	GPS NEO-6M SMA+IPEX[96]	GPS NEO-7M SMA+IPEX[97]	GSM/GPRS SIM800L[98]	GSM/GPRS SIM900A[99]
1	2	3	4	5
Тип модуля	GPS	GPS	GSM/GPRS	GSM/GPRS
Точність визначення	Висока	Висока	-	-
Інтерфейс	UART			
Напруга живлення	3.3 В	3.3 В	3.4-4.4 В	3.2-4.8 В
Споживання енергії	Варіюється			
Вбудована антена	Ні	Ні	Так	Так
Зовнішня антена	Підтримується			
Підтримувані протоколи	NMEA	NMEA	AT команди	AT команди
Додаткові функції	-	-	SMS, GPRS, HTTP	SMS, GPRS, HTTP

Важливо відзначити, що вибір між цими модулями буде залежати від конкретних потреб та завдань, які ви хочете вирішити. Наприклад, якщо вам потрібно лише місцезнаходження, то модуль GPS NEO-6M або NEO-7M може бути підходящим вибором. Якщо вам також потрібен зв'язок по мережі для передачі даних, то модулі GSM/GPRS SIM800L і SIM900A підійдуть для цієї мети. Важливо також врахувати сумісність та доступність драйверів та документації для обраного модуля, а також вимоги щодо енергоспоживання та габаритів, які можуть бути важливими для конкретної програми..

Модулі бездротового зв'язку - відіграють ключову роль у робототехніці та надають роботам кілька важливих можливостей та переваг:

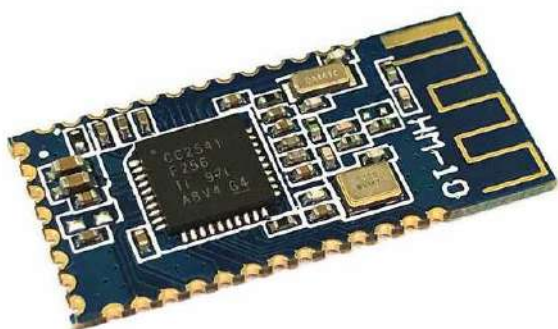
- дистанційне керування та моніторинг: Бездротовий зв'язок дозволяє операторам віддалено керувати роботами та отримувати зворотний зв'язок про стан та дії роботів. Це особливо корисно в небезпечних або недоступних середовищах, таких як місця аварій, підводні та космічні дослідження;

- збір та передача даних: Роботи можуть збирати різноманітні дані, такі як зображення, відео, звук, температуру, вологість та інші параметри, та передавати їх операторам або центральній системі для аналізу та прийняття рішень. Це корисно в таких галузях, як дослідження, розвідка та моніторинг навколишнього середовища;

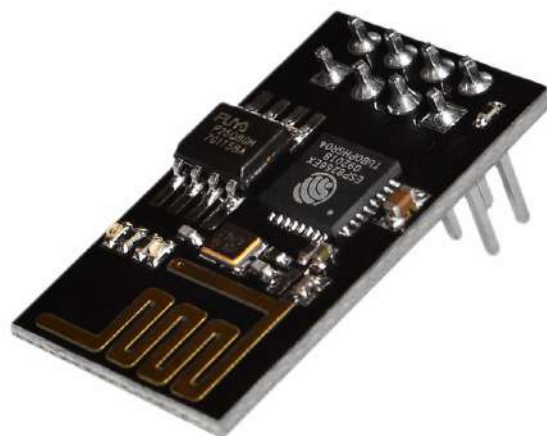
- колаборація між роботами: Бездротовий зв'язок дозволяє роботам спільно працювати та обмінюватися інформацією. Наприклад, група роботів може координувати свої дії для виконання складних завдань, таких як пошук та порятунк, розвідка або навіть будівництво;

- автономність та навчання: Роботи можуть використовувати бездротовий зв'язок для навчання та оновлення своїх навичок та програм. Вони можуть завантажувати нові алгоритми, оновлення або навчальні дані із центрального пристрою.

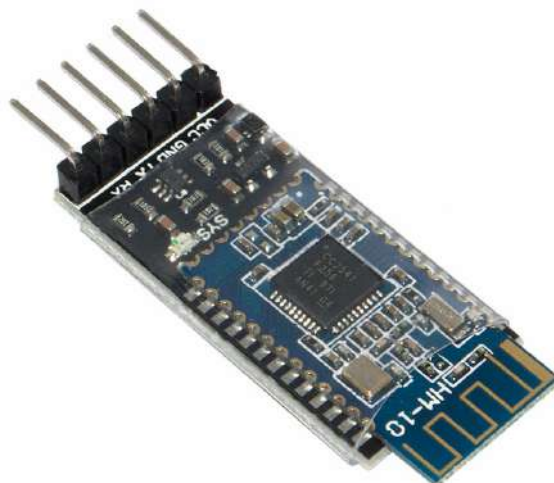
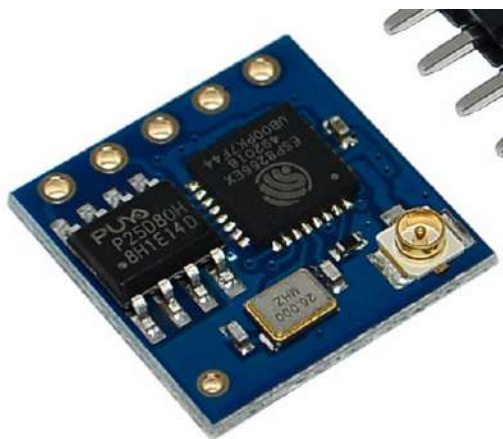
Приклад поширених модулів бездротового зв'язку наведено на рис. 2.29



а)



б)



в)

с)

а) Модуль HM-10 Bluetooth 4.0 [100]

б) Модуль WI-FI ESP8266 / ESP-01[101]

с) Модуль ESP-05 WI-FI ESP8266 [102]

с) Модуль HM-10 Bluetooth 4.0 [103]

Рисунок 2.29 – Модулі бездротового зв'язку

Порівняння технічних характеристик модулів бездротового зв'язку (рис.2.29) наведено у таблиці 2.22

Таблиця 2.22 - Порівняння технічних характеристик модулів бездротового зв'язку.

Характеристика	Модулі бездротового зв'язку			
	HM-10 Bluetooth 4.0 [100]	WI-FI ESP8266 / ESP-01 [101]	ESP-05 WI-FI ESP8266 [102]	HM-10 Bluetooth 4.0 [103]
1	2	3	4	5
Тип бездротового зв'язку	Bluetooth 4.0	Wi-Fi	Wi-Fi	Bluetooth 4.0
Діапазон дії	до 100 метрів	Залежно від антени	Залежно від антени	До 100 метрів

Продовження таблиці 2.22

1	2	3	4	5
Швидкість передачі даних	До 2 Мбіт/с	До 72 Мбіт/с	До 72 Мбіт/с	До 2 Мбіт/с
Робоча напруга	3.3 В			
Інтерфейс зв'язку	UART (Serial)			
Вбудована пам'ять	256 байт	512 Кбайт	512 Кбайт	256 байт
Розміри	Різні варіанти, але typically 27 x 13 x 2 мм	24.5 x 14.5 мм	14.5 x 12 мм	Різні варіанти, але typically 27 x 13 x 2 мм
Підтримувані режими роботи	Майстер/Слейв	Клієнт/Сервер	Клієнт/Сервер	Майстер/Слейв
Підтримувані протоколи	Bluetooth 4.0, BLE	Wi-Fi, TCP/IP	Wi-Fi, TCP/IP	Bluetooth 4.0, BLE
Операційні системи, що підтримуються	Різні (iOS, Android)	Не вимагається	Не вимагається	Різні (iOS, Android)

Зверніть увагу, що це загальні характеристики модулів, і конкретні параметри можуть змінюватись в залежності від виробника та моделі.

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) - це ключові компоненти в електронних пристроях, які дозволяють перекладати інформацію між аналоговою та цифровою формою. Ось як вони працюють:

АЦП (Аналого-Цифровий Перетворювач):

- вибір сигналу: Спочатку вибирається аналоговий сигнал, який потрібно перетворити на цифровий формат. Цей сигнал може бути напругою, струмом чи іншим аналоговим параметром;

- квантування: Сигнал розбивається на кінцеву кількість дискретних рівнів, які є числами. Цей процес називається квантуванням. Чим більше

рівнів (бітів) використовується в АЦП, тим вище його роздільна здатність і точність;

- вимірювання: АЦП вимірює напругу (або інший аналоговий параметр) на вході і порівнює його з рівнями квантування. Потім він визначає, якого рівня найближче вхідний сигнал;

- перетворення на цифровий код: Як тільки рівень, найближчий до вхідного сигналу, визначений, АЦП представляє цей рівень у вигляді бінарного коду (цифрового значення). Цей код можна використовувати в мікроконтролерах або інших цифрових пристроях для обробки даних.

- вихід: Цифровий код виводиться для подальшого використання, наприклад, для аналізу, відображення на екрані або передачі цифрових інтерфейсів.

ЦАП (Цифро-Аналоговий Перетворювач):

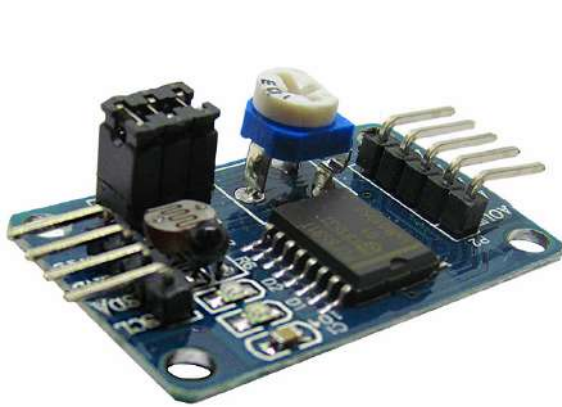
- отримання цифрового коду: Цифровий код, отриманий від інших пристроїв або мікроконтролера, подається на вхід ЦАП;

- перетворення на аналоговий сигнал: ЦАП використовує цей цифровий код для створення аналогового сигналу. Цей сигнал може бути напругою, струмом чи іншим аналоговим параметром.

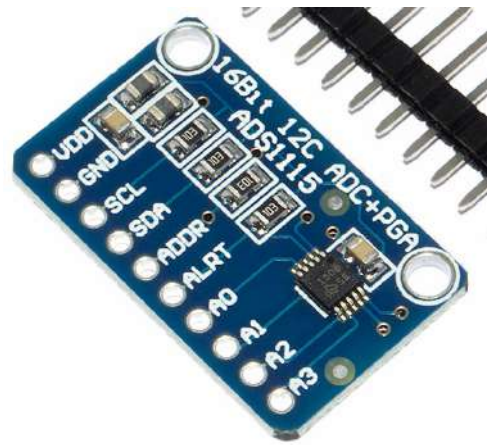
- фільтрація та посилення: В деяких випадках аналоговий сигнал, створений ЦАП, може бути відфільтрований або посилений, щоб відповідати необхідним характеристикам сигналу.

- вихід: Аналоговий сигнал виводиться для подальшого використання в аналогових пристроях, таких як динаміки, двигуни, датчики та інші пристрої, які працюють з аналоговими сигналами.

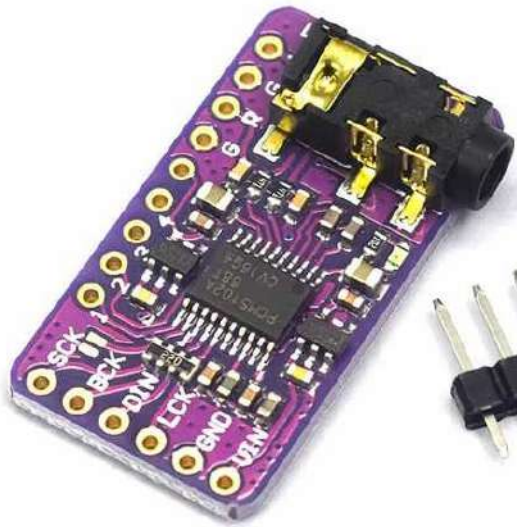
Приклад розповсюджених модулів АЦП/ЦАП наведено на рис. 2.30



а)



б)



в)



г)

а) Модуль PCF8591 ЦАП/АЦП ADC/DAC [104];

б) Модуль ADS1115 [105];

в) Модуль звукового I2S ЦАП на PCM5102 [106]

г) Модуль HX711 [107]

Рисунок 2.30 – Модулі АЦП/ЦАП

Порівняння технічних характеристик модулів АЦП/ЦАП (рис.2.30) наведено у таблиці 2.23

Таблиця 2.22 – Порівняння технічних характеристик модулів АЦП/ЦАП.

Характеристика	Модулі АЦП/ЦАП			
	PCF8591 [104]	ADS1115 [105]	I2S ЦАП на PCM5102 [106]	HX711 [107]
Тип	АЦП и ЦАП	АЦП	АЦП	АЦП
Роздільна здатність	8 біт (АЦП), 8 біт (ЦАП)	16 біт	24 біт	24 біт
Інтерфейс зв'язку	I2C	I2C	I2S	Спеціалізований
Кількість входів (АЦП)	4 (одночасно)	4 (одночасно)	Не застосовуєть ся	1 (подвійне зважування)
Діапазон виміру (АЦП)	Регульований		Не применимо	Регульований
Швидкість перетворення (АЦП)	До 250 кГц	До 860 спл/сек	Не застосовуєть ся	До 80 спл/сек
Джерело живлення	2.5V - 6V	2.0V - 5.5V	3.3V - 5V	2.7V - 5.5V
Застосування	Універсальні виміри	Високоточні виміри	Аудіо та звукове обладнання	Вагові виміри

Ці модулі призначені для різних завдань і мають різні характеристики. Наприклад, PCF8591 підходить для загальних вимірювань середньої точності, ADS1115 надає високу точність для вимірювань з низьким рівнем шуму, I2S ЦАП на PCM5102 використовується в аудіо-додатках, а HX711 застосовується для вагових вимірювань.

Модуль для вимірювання струму, напруги та потужності в робототехніці — це пристрій, призначений для вимірювання різних параметрів електроенергії, необхідних для керування та моніторингу роботів та інших електронних пристроїв. Ці модулі дозволяють роботам та

інженерам стежити за споживаною потужністю, контролювати напругу та струм, та визначати ефективність роботи електричних систем. Ось як вони зазвичай працюють:

- вимірювання напруги: Модуль зазвичай має вхід для вимірювання напруги. Цей вхід може бути підключений до джерела живлення робота або будь-якого іншого електричного компонента. Модуль вимірює напругу на цьому вході та надає цифрове значення напруги для подальшої обробки;

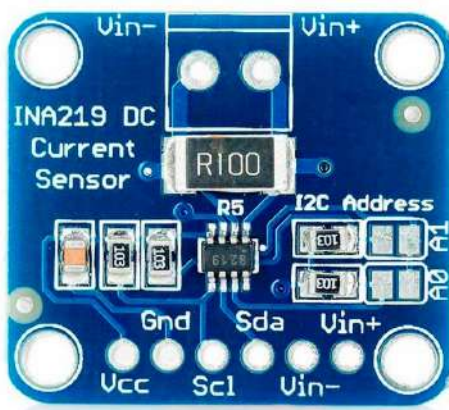
- вимірювання струму: Модуль також має вхід для вимірювання струму. Цей вхід може бути підключений до ланцюга, через який проходить струм, який ви хочете виміряти. Модуль використовує струмовий датчик, наприклад силовий резистор або Hall-ефектний датчик, щоб виміряти струм і надати цифрове значення для подальшої обробки.

- обчислення потужності: Після вимірювання напруги та струму модуль може обчислити потужність, використовуючи формулу:

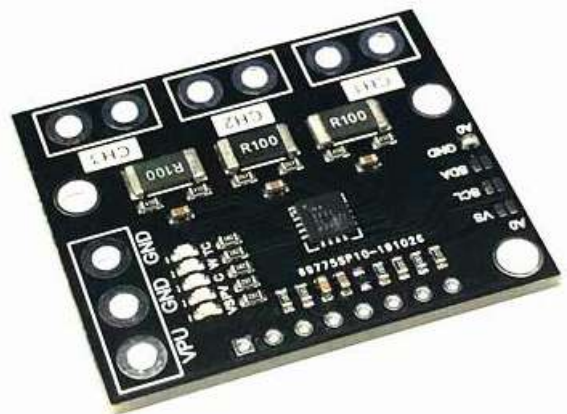
$$P = V \cdot I$$

де: P - потужність, V - напруга, а I - струм.

Приклад поширених модулів для вимірювання струму, напруги та потужності в робототехніці наведено на рис. 2.31



а)



б)

а) Модуль INA219 [108]

б) Модуль INA3221 [109]

Рисунок 2.31 – Модулі для вимірювання струму, напруги та потужності в робототехніці

Порівняння технічних характеристик модулів для вимірювання струму, напруги та потужності в робототехніці (рис.2.31) наведено в таблиці 2.24

Таблиця 2.24 – Порівняння технічних характеристик модулів для вимірювання струму, напруги та потужності в робототехніці.

Характеристика	INA219 [108]	INA3221 [109]
1	2	3
Тип	Токовий та напружений датчик	Багатоканальний струмовий та напружений датчик
Кількість каналів	1	3
Діапазон вимірювання струму	До ± 3.2 А	До ± 3.2 А на кожному каналі
Роздільна здатність струму	12 біт (± 40 мА)	12 біт (± 40 мА) на кожному каналі
Діапазон вимірювання напруги	0-26 В	0-26 В
Роздільна здатність напруги	16 біт	16 біт на кожному каналі
Інтерфейс зв'язку	I2C	
Прецизійність	$\pm 1\%$ (макс.)	$\pm 0.8\%$ (макс.) на кожному каналі
Додаткові особливості	Відстеження потужності, фіксована адреса I2C	Можливість налаштування адрес I2C для кожного каналу, відстеження потужності, захист від перевантаження
Напруга живлення	2.7 В - 5.5 В	
Застосування	Вимірювання струму та напруги з одноканальною точністю	Багатоканальний вимір струму та напруги в різних точках схеми, де потрібен моніторинг кількох каналів

Використовуючи модуль INA219, ви зможете вимірювати струм та напругу на одному каналі з високою точністю. У той час як INA3221 надає ту

ж високу точність вимірювань для трьох незалежних каналів, що корисно, наприклад, для моніторингу кількох компонентів або областей у електронній схемі роботів.

Модулі реле являють собою пристрої, що використовуються для керування електричними ланцюгами, перемикання високої потужності та ізоляції сигналу керуючого від вихідного навантаження. Вони широко застосовуються у різних галузях, включаючи автоматизацію, електроніку, робототехніку та домашні проекти. Ось як вони працюють:

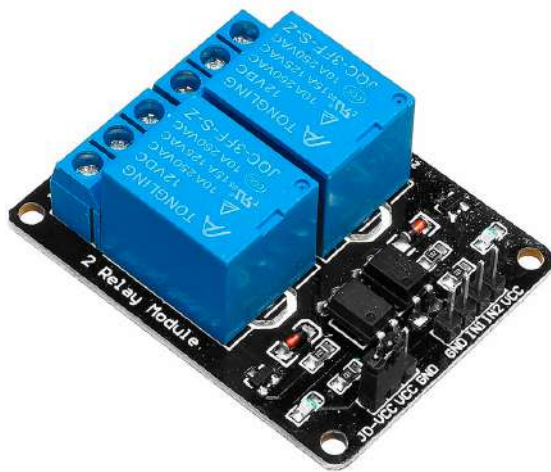
- **конструкція реле:** Реле складається з електромагніту, контактів та пружини. Електромагніт надає руху контакти, перемикаючи їх між двома станами. Контакти зазвичай виготовлені з матеріалів, які добре проводять електрику, таких як мідь;

- **вихідний стан (нормально відкрито або нормально закрито):** Залежно від конструкції реле, воно може мати вихідний стан, коли контакти знаходяться у відкритому (NO - Normally Open) або закритому (NC - Normally Closed) положенні без електромагнітного впливу;

- **подача сигналу:** Щоб переключити стан реле, подається сигнал його електромагніт. Цей сигнал може бути постійним або змінним струмом. При активації електромагніта створюється магнітне поле, яке притягує контакти та переводить їх у протилежний стан щодо вихідного;

- **перемикання контактів:** Коли електромагніт активний, контакти перемикаються з вихідного стану до альтернативного.

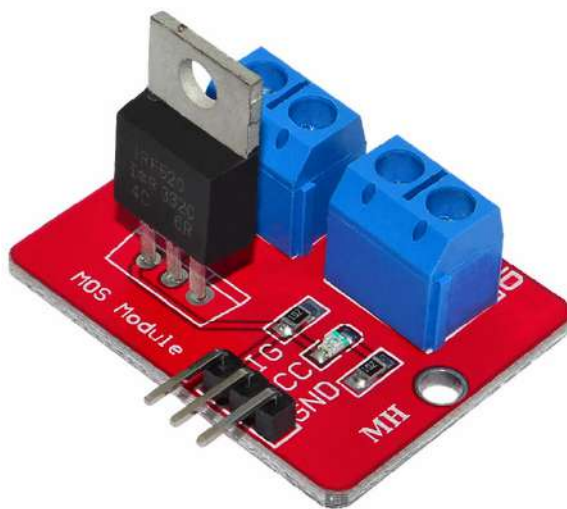
Приклад розповсюджених реле модулів наведено на рис. 2.32



а)



б)



в)



г)

а) Модуль 2 реле 12V з опторозв'язкою [110]; б) Модуль 1 реле 5V [111];
в) Модуль IRF520 [112]; г) Модуль 1 реле твердотільне [113].

Рисунок 2.32 – Модуль реле

Порівняння технічних характеристик модулів для вимірювання струму, напруги та потужності в робототехніці (рис.2.32) наведено в таблиці 2.25.

Зауважте, що характеристики можуть незначно відрізнятися в залежності від конкретних моделей і виробників. Вибір модуля залежить від конкретних вимог вашого проекту, таких як напруга, струм, частота комутації та наявність опторозв'язки для ізоляції мікроконтролера від навантаження.

Таблиця 2.25 - Порівняння технічних характеристик модулі реле

Характеристика	Модуль 2 реле 12V з опторозв'язкою	Модуль 1 реле 5V [111]	Модуль IRF520 [112]	Модуль 1 реле твердотільне [113]
Робоча напруга	12V	5V	3.3V - 40V	5V
Максимальний струм комутації	Залежить від реле		До 5A	Залежить від реле
Тип реле	Механічне		Мосфет	Твердотельне
Опторозв'язка	Так	Ні	Ні	Так
Вхідний рівень	3.3V або 5V (залежно від моделі)	5V	3.3V - 5V	3.3V або 5V (залежно від моделі)
Максимальна частота комутації	Залежить від реле	Залежить від реле	До 20 кГц	Залежить від реле
Застосування	Загальне керування навантаженнями		Підсилювачі потужності, керування моторами	Загальне керування навантаженнями
Переваги	Опторозв'язка для ізоляції мікроконтролера від навантаження	Доступний у широкому діапазоні напруг	Підсилювач потужності, вбудований захист	Надійність, швидке комутування
Недоліки	Потрібне зовнішнє джерело 12V	Обмежена робоча напруга	Потрібен додатковий компонент	Обмежений максимальний струм комутації

Модуль перетворення логічних рівнів (або буферного рівня) - це електронний пристрій, який використовується для адаптації чи узгодження сигналів між пристроями з різними рівнями логіки. Він відіграє важливу роль у схемах, де мікроконтролери, мікросхеми чи пристрої мають різні напружені

рівні для позначення логічних 0 та логічних 1. Ось як працює модуль перетворення логічних рівнів:

- визначення логічних рівнів: Різні пристрої та мікроконтролери можуть використовувати різні напружені рівні для позначення логічних 0 і логічних 1. Наприклад, деякі мікроконтролери можуть працювати з напругою 3.3 для логічної одиниці (1), в той час як інші можуть використовувати 5 В. Модуль перетворення логічних рівнів вирішує цю проблему;

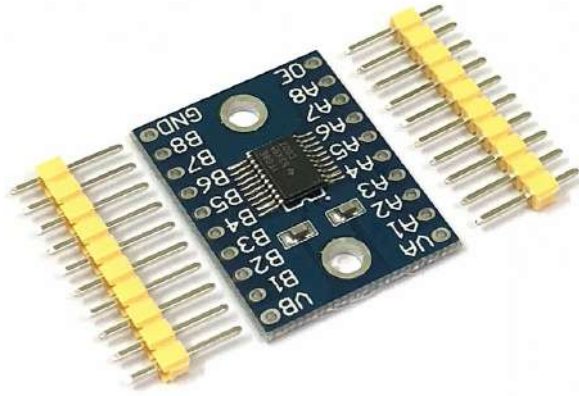
- рівні логіки: Модуль перетворення логічних рівнів має два набори пінів: один для входу та один для виходу. Зазвичай це два різні рівні напруги. Наприклад, вхідні рівні можуть бути 3.3 (для логічних 0 і 1), а вихідні рівні 5 (для логічних 0 і 1);

- перетворення сигналів: Модуль перетворення логічних рівнів визначає логічний рівень на вході і відповідно встановлює вихідний рівень. Якщо, наприклад, на вході модуля з'являється 3.3 (логічна 1 для пристрою з цими рівнями), то модуль на виході встановлює 5 (логічна 1 для пристрою з 5-вольтовими рівнями логіки);

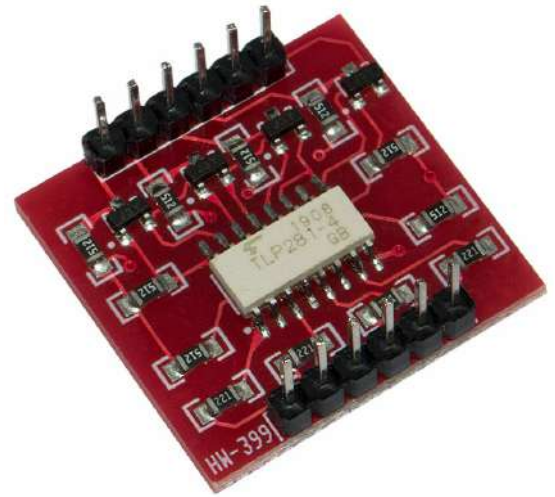
- узгоджені рівні: Тепер пристрої з різними рівнями логіки можуть безпечно обмінюватися інформацією, оскільки сигнали на вході та виході модуля перетворення логічних рівнів відповідають вимогам кожного пристрою;

- захист від перевантаження: Деякі модулі перетворення логічних рівнів також забезпечують захист від перевантаження та мають вбудовані резистори для обмеження струму, що запобігає пошкодженню пристроїв.

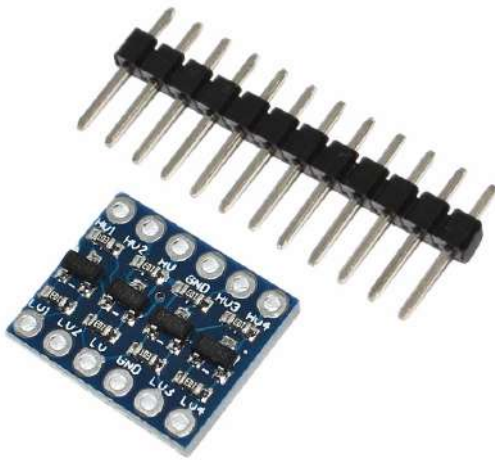
Приклад розповсюджених модулів перетворення логічних рівнів наведено рис. 2.33



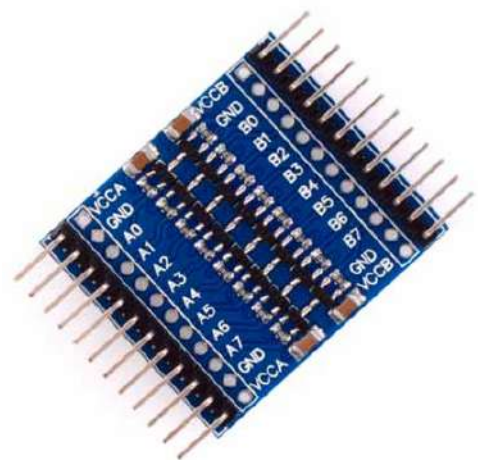
а)



б)



в)



г)

а) Модуль 8-канальний перетворювач рівнів на мікросхемі TXS0108E [114]

б) Модуль TLP281 4-х канална [115]

в) Модуль перетворення логічних рівнів двоспрямований [116]

г) 8- канальний двонаправлений перетворювач рівнів 3.3/5V [117]

Рисунок 2.33 – Модулей перетворення логічних рівнів

Порівняння технічних характеристик модулів перетворення логічних рівнів (рис.2.33) наведено в таблиці 2.26

Таблиця 2.26 – Порівняння технічних характеристик модулів перетворення логічних рівнів.

Характеристика	Модулі перетворення логічних рівнів			
	8- канальний на мікросхемі TXS0108E [114]	TLP281 4-х канальна [115]	Модуль перетворення логічних рівнів двоспрямований [116]	8- канальний двонаправлений перетворювач рівнів 3.3/5В [117]
Кількість каналів	8	4	2 (двоспрямований)	8
Напруга живлення	2.3 В - 3.6 В	3.3 В - 15 В	Різна вхідна та вихідна напруга	3.3 В - 5 В
Максимальна робоча напруга на вході	5.5 В	Різне	Різне	5 В
Рівні логіки на виході	1.8 В (сумісно з 1.8 В, 2.5 В, 3.3 В, 5 В)	Оптичний ізолятор	Різне	3.3 В
Рівні логіки на вході	1.8 В (сумісно з 1.8 В, 2.5 В, 3.3 В, 5 В)	Оптичний ізолятор	Різне	5 В
Максимальна швидкість передачі даних (кГц)	1000	1000	Разное	1000

Зауважте, що характеристики можуть незначно відрізнятися в залежності від конкретних моделей і виробників. Вибір модуля перетворення логічних рівнів залежить від конкретних вимог вашого проекту, таких як кількість каналів, рівні логіки, максимальна робоча напруга та швидкість передачі даних.

Модуль контролера двигунами - це пристрій, призначений для керування двигунами, такими як крокові двигуни, серводвигуни або постійні магніти. Він може керувати швидкістю, напрямом та положенням двигуна, забезпечуючи точне та ефективне рух. Ось як працює модуль контролера двигунами:

- підключення до джерела живлення: Модуль контролера двигунами підключається до джерела живлення, яке забезпечує необхідну напругу та струм для роботи двигуна. Важливо вибрати відповідне джерело живлення, щоб забезпечити надійну роботу;

- підключення до мікроконтролера: Модуль також підключається до мікроконтролера або іншого пристрою, що управляє, через різні інтерфейси, такі як PWM (Широтно-імпульсна модуляція), UART, SPI або I2C. Це дозволяє програмно керувати двигуном;

- інтерфейс керування: Модуль контролера двигунами має інтерфейс керування, який може приймати команди від мікроконтролера чи користувача. Цей інтерфейс може бути апаратним, таким як кнопки або регулятори, або програмним, через яке керування здійснюється командами;

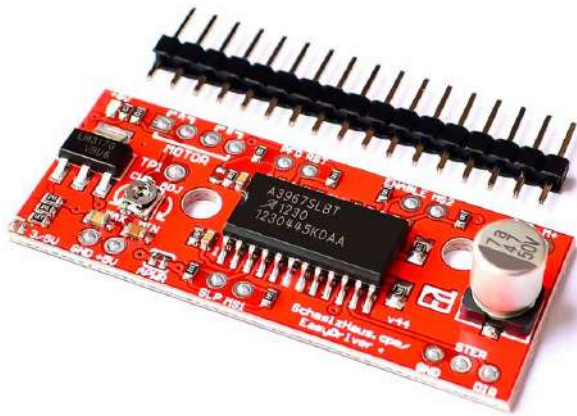
- генерація сигналів управління: При отриманні команди мікроконтролера модуль генерує сигнали управління для двигуна. Ці сигнали можуть включати інформацію про швидкість, напрям і кроки для крокових моторів або кута повороту для серводвигунів;

- керування двигуном: Модуль передає сигнали керування двигуну, що призводить до його руху відповідно до заданих параметрів. Наприклад, якщо потрібно повернути серводвигун на певний кут, модуль надішле відповідний сигнал керування;

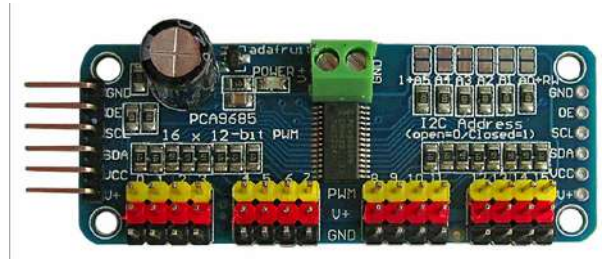
- зворотний зв'язок і контроль: Деякі модулі контролера двигунами мають вбудований зворотний зв'язок, такий як енкодери або датчики положення, які повідомляють модулю про фактичне положення двигуна. Це дозволяє керувати двигуном з високою точністю та коригувати його положення за необхідності;

- захист та безпека: Багато модулів контролера двигунами також включають функції захисту, такі як захист від перегріву або перевантаження, щоб запобігти пошкодженню двигуна.

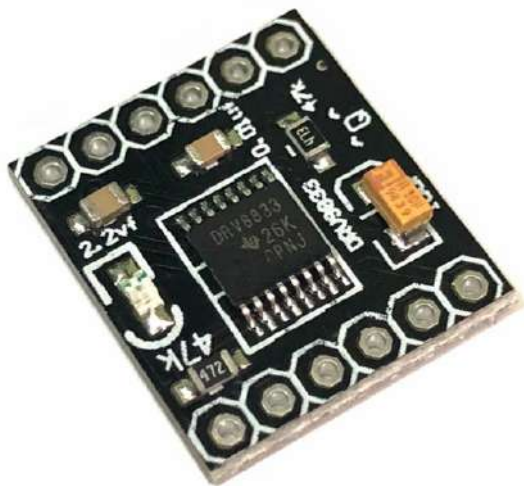
Приклад розповсюджених модулів контролера двигунами наведено на рис. 2.34



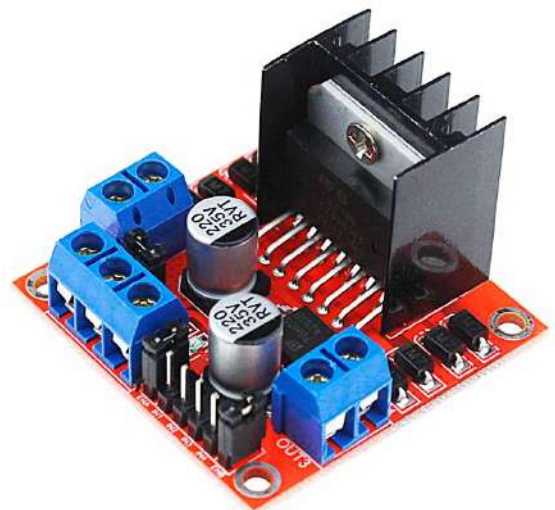
а)



б)



в)



г)

а) A3967 модуль контролер крокового двигуна [118];

б) 16- канальний 12-bit PWM/Servo модуль на PCA9685 [119]

в) DRV8833 двоканальний драйвер колекторного двигуна [120]

г) Модуль L298N [121]

Рисунок 2.34 – Модулі контролера двигунами

Порівняння технічних характеристик модулів контролера двигунами (рис.2.34) наведено у таблиці 2.27

Таблиця 2.27 – Порівняння технічних характеристик модулів контролера двигунами

Характеристика	Модулі контролера двигунами			
	A3967[118]	PCA9685[119]	DRV8833[120]	L298N[121]
1	2	3	4	5
Тип	Кроковий двигун	PWM контролер	Двигун постійного струму	
Вхідна напруга	7-30 В	2.3-5.5 В	2.7-10.8 В	5-35 В
Кількість каналів (виходів)	1	16	2	2
Режими роботи	Теплова, струмова	Ні	Теплова, струмова	Теплова, струмова
Поточна витрата (в режимі очікування)	Низький	Низький	Низький	Високий
Інтерфейс зв'язку	SPI	I2C	2-х провідний	Аналоговий та цифровий
Підтримувані мотори	Крокові двигуни	Сервоприводи, мотори	Двигуни постійного струму	Двигуни постійного струму
Примітки	Для крокових двигунів	Для керування сервоприводами та світлодіодами	Для невеликих DC двигунів	Для середніх DC двигунів

Зверніть увагу, що ці модулі мають різні призначення та призначені для різних типів двигунів. Вибір модуля залежить від конкретного завдання та вимог до керування двигунами.

Годинник реального часу (RTC) являють собою пристрої або інтегральні схеми спеціально розроблені для точного вимірювання часу і дати незалежно від зовнішніх умов. Вони відіграють важливу роль у багатьох програмах, таких як комп'ютери, мережі, системи моніторингу та управління, мобільні

пристрої та навіть побутова техніка. Принцип роботи RTC заснований на кількох ключових компонентах та технологіях:

- кварцовий резонатор: Основою RTC є кварцовий кристал, який має стабільну частоту коливань при змінних температурних умовах. Кварцовий резонатор використовують як точне джерело часу;

- дільник та лічильник: Вихідні сигнали від кварцового кристала спочатку піддаються поділу, щоб отримати точні часові інтервали. Потім лічильники відстежують кількість тактових імпульсів, щоб розрахувати час;

- батарейне живлення: RTC зазвичай обладнані батареєю, яка підтримує їхню роботу навіть при відключенні основного джерела живлення. Це гарантує збереження часу та дати при збоях електроживлення;

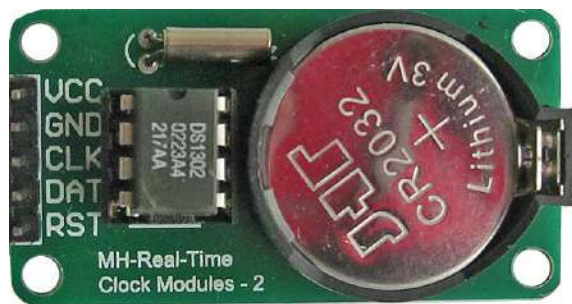
- керування та комунікація: RTC можуть мати інтерфейси для налаштування та синхронізації часу. Вони можуть бути підключені до мікроконтролерів, комп'ютерів або інших пристроїв для читання та встановлення часу;

- компенсація температурних впливів: Деякі RTC мають функції автоматичної корекції часу, враховуючи зміни температури, щоб підтримувати високу точність;

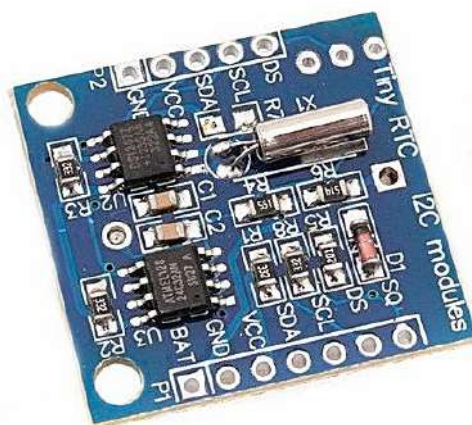
- сигнали будильника: RTC можуть бути налаштовані на генерацію сигналів будильника у певний час або дату, що робить їх корисними для будильників та систем подійного керування.

Загальний принцип роботи RTC полягає в тому, що вони підтримують постійне відстеження часу та дати, навіть коли пристрій вимкнено або перебуває в режимі очікування. Завдяки кварцовому резонатору та батарейному живленню вони забезпечують високу точність та надійність у вимірі часу, що є критично важливим для багатьох додатків.

Приклад розповсюджених модулів годинника реального часу (RTC) наведено на рис. 2.35.



а)



б)



в)

а) Модуль DS1302 RTC [122];

б) Модуль DS1307 RTC [123];

в) Модуль DS3231 RTC [124];

Рисунок 2.35 – Модулі годинника реального часу (RTC)

Порівняння технічних характеристик модулів годинника реального часу (RTC) (рис.2.35) наведено в таблиці 2.28

Таблиця 2.28 – Порівняння технічних характеристик модулів годинника реального часу (RTC).

Характеристика	DS1302 RTC[122]	DS1307 RTC[123]	DS3231 RTC[124]
1	2	3	4
Інтерфейс зв'язку	3-провідний (SPI)	I2C (2-провідний)	I2C (2-провідний)

Продовження таблиці 2.28

1	2	3	4
Робота від батареї	Так		
Точність часу	Середня	Середня	Висока
Точність температурного сенсора	Ні	Ні	Є
Діапазон робочих температур	-40°C до +85°C		
Максимальна частота I2C	Ні	400 кГц	400 кГц
Підтримка календарних дат	Так	Так	Так

Зверніть увагу, що DS3231 RTC зазвичай вважається більш точним та надійним вибором серед перерахованих RTC модулів завдяки його високій точності та вбудованому температурному сенсору. DS1307 RTC є стандартним вибором серед багатьох проектів, і DS1302 RTC, хоч і старший за віком, все одно може бути корисним для деяких завдань.

2.5 Автономні модулі живлення для BEAM роботів

Автономні модулі живлення відіграють ключову роль у створенні та забезпеченні надійної роботи BEAM-роботів, що є одним із унікальних напрямків у галузі робототехніки. BEAM (Biology, Electronics, Aesthetics, Mechanics) є підхід до створення роботів, який зосереджується на максимальній ефективності при мінімальних витратах на електроніку та механіку. У цьому контексті автономні модулі живлення відіграють важливу роль, оскільки забезпечують роботам незалежність від зовнішніх джерел енергії.

Ось кілька ключових аспектів автономних модулів живлення для BEAM-роботів:

- джерело живлення: Автономні модулі живлення можуть використовувати різні джерела енергії, такі як сонячні батареї, батареї або суперконденсатори. Вибір джерела залежить від конкретних вимог робота та тривалості його автономної роботи;
- ефективність: BEAM-роботи прагнуть максимальної ефективності використання енергії. Автономні модулі живлення повинні бути проєктовані так, щоб мінімізувати втрати енергії під час її зберігання та перетворення;
- управління зарядом та розрядом: Модулі живлення повинні забезпечувати контроль над зарядом та розрядом батарей або інших джерел енергії, щоб уникнути пошкоджень та продовжити їх термін служби;
- напруга та струм: Автономні модулі живлення повинні забезпечувати стабільну напругу та струм для живлення моторів, датчиків та інших компонентів робота;
- захист від перевантаження: Вони також повинні включати захист від перевантаження, щоб запобігти пошкодженню компонентів при надмірному споживанні енергії;
- маленький розмір та вага: BEAM-роботи, як правило, досить компактні та легкі. Автономні модулі живлення повинні бути легкими та компактними, щоб підходити для конструкції робота;
- управління зарядом сонячних батарей: У разі використання сонячних батарей, модулі можуть включати контролери заряду сонячних батарей для ефективної зарядки і використання сонячної енергії;
- довгий термін служби: Для безперебійної роботи BEAM-роботів у різних умовах важливо, щоб автономні модулі живлення мали довгий термін служби та надійність;
- гнучкість і можливість переналаштовуватися: Різні BEAM-роботи можуть мати різні вимоги до енергоживлення. Тому модулі повинні бути гнучкими та мали можливість адаптуватися до конкретних потреб;
- економічність: BEAM-роботи досліджують ідеї мінімальних витрат, тому модулі живлення мають бути доступними та економічно ефективними.

Автономні модулі живлення для ВЕАМ-роботів відіграють важливу роль у забезпеченні їхньої ефективної роботи та можуть бути адаптовані для різних проектів з урахуванням специфічних потреб та умов експлуатації.

Одним із ключових модулем у розробці автономних модулів живлення служать сонячні панелі (solar panels). Принцип роботи сонячних панелей (або фотоелектричних панелей) ґрунтується на явищі фотоелектричного ефекту, який полягає в тому, що деякі матеріали можуть генерувати електричний струм при опроміненні світлом. Ось детальніший опис принципу роботи сонячних панелей:

- фотоелектричний ефект: Основою сонячних панелей є фотоелектричний ефект. Коли фотони (світло) потрапляють на поверхню напівпровідникового матеріалу сонячної панелі, вони можуть вирвати з атомів електрони, надаючи їм енергію;

- розділення зарядів: За наявності зовнішньої різниці потенціалів у сонячній панелі створюється електричне поле. Це поле змушує вирвані електрони рухатися в одному напрямку, а дірки (місця, звідки були вирвані електрони) рухатись у протилежному напрямку;

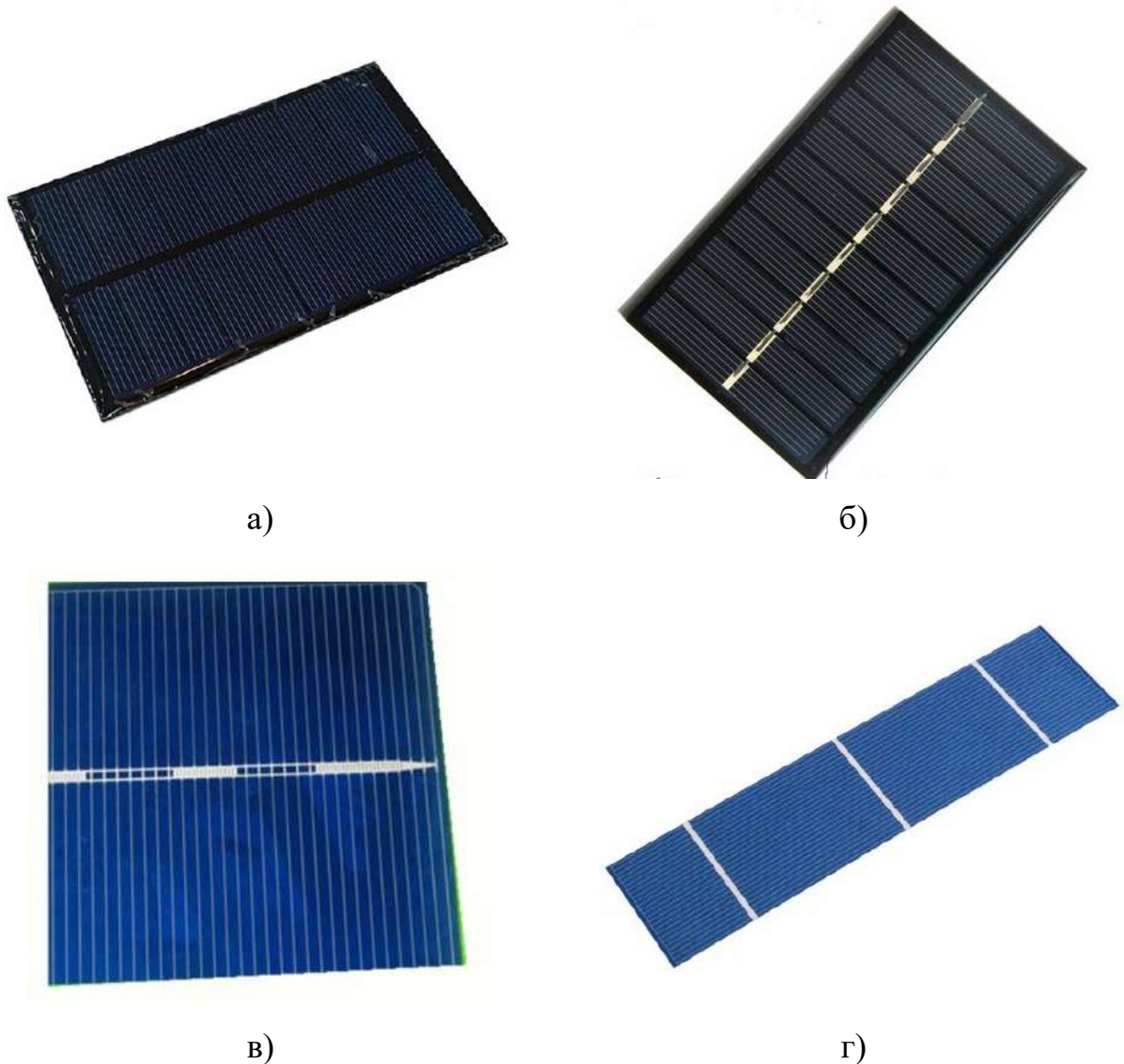
- генерація електричного струму: Коли електрони та дірки починають рухатися, це створює електричний струм. Цей струм може бути використаний для живлення електричних пристроїв та заряджання акумуляторів;

- складання та проводи: Усередині сонячної панелі є складання з напівпровідникових шарів, зазвичай з додаванням елементів, таких як кремній або германій. Ці елементи забезпечують поділ зарядів та створення електричного поля. Струм, створений в результаті фотоефекту, збирається та виводиться через проводи сонячної панелі;

- концентрація сонячного світла: У деяких системах сонячних панелей використовується оптика, щоб посилити інтенсивність світла, що потрапляє на поверхню панелі. Це дозволяє підвищити ефективність збирання енергії в умовах обмеженого місця;

- максимальна потужність: Сонячні панелі налаштовані на генерацію максимальної потужності за певних умов яскравості та температури. Для максимальної ефективності сонячні панелі можуть бути підключені до системи відстеження сонця, щоб завжди виставлятися під правильним кутом до сонця.

Приклад сонячних панелей для DIY моделей BEAM роботів наведено рис. 2.36.



a) Solar 5V 1W[125]; б) SOLAR-100X60-0.75W-5V[127];
в) SOLAR 52*52мм, 0.5В, 0.96А; г) SOLAR 1,13Вт/0,5В. 156x39mm.

Рисунок 2.36 – Сонячні панелі для DIY моделей BEAM роботів

Порівняння технічних характеристик сонячних панелей для DIY моделей BEAM роботів (рис.2.36) наведено у таблиці 2.29

Таблиця 2.29 – Порівняння технічних характеристик сонячних панелей для DIY моделей BEAM роботів.

Характеристика	Solar 5V 1W [123]	SOLAR- 100X60-0.75W- 5V [127]	SOLAR 52*52мм, 0.5B	SOLAR 1,13Вт/0,5В 156x39mm
Напруга (В)	5	5	0.5	0.5
Потужність (Вт)	1	0.75	0.25	1.13
Струм (А)	0.2	0.15	0.96	2.26
Розмір (мм)	Не вказано	100x60	52x52	156x39

Ці сонячні модулі мають різні характеристики і підходять для різних програм залежно від вимог до потужності, напруги, розмірів та інших параметрів. Вибір конкретного модуля залежить від конкретних потреб у проекті та умов експлуатації.

Для збільшення потужності сонячної батареї кілька фотоелектричних модулів з'єднують послідовно та/або паралельно. Збільшення потужності сонячної батареї дозволяє використовувати екологічно чисту сонячну енергію для живлення різних споживачів електроенергії. Враховуючи те, що сонячні модулі постійно вдосконалюються, підвищується їх ККД і покращуються електричні параметри, старі сонячні панелі можуть мати різні параметри - струми, напруги, потужності і т.д. Змінюються також напруги в точці максимальної потужності модулів. Тому важливо знати, як правильно з'єднувати між собою однакові та різні сонячні модулі, щоб отримати максимальну потужність та ефективність від сонячної батареї.

Хитрість тут при з'єднанні сонячних панелей полягає в тому, щоб вибрати метод підключення, який дасть вам найбільш енергоефективну конфігурацію для конкретних вимог. З'єднання сонячних панелей разом може здатися складним завданням, коли ви вперше починаєте дивитися на те, як це

повинно бути зроблено, але з'єднати кілька сонячних панелей разом не так вже й складно, якщо трохи подумати. З'єднання сонячних панелей разом у паралельних або послідовних комбінаціях для створення великих масивів часто не береться до уваги, але є абсолютно важливою частиною будь-якої добре спроектованої сонячної енергетичної системи.

Існує три основні, але дуже різні способи з'єднання сонячних панелей, і кожен спосіб з'єднання призначений для певної мети. Наприклад, для отримання більшої вихідної напруги або отримання більшого струму. Сонячні панелі можуть бути підключені послідовно або паралельно для збільшення напруги або сили струму відповідно, або вони можуть бути з'єднані разом послідовно і паралельно для збільшення як напруги, так і вихідного струму, створюючи масив вищої потужності. Приклад послідовного і паралельного підключення сонячних панелей наведено на рис. 2.37.

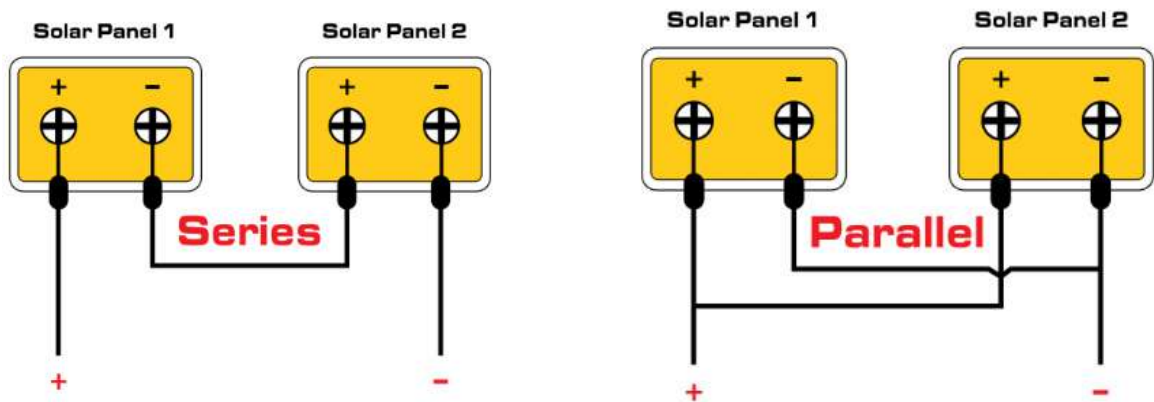


Рисунок 2.37 – Приклад послідовного та паралельного підключення сонячних панелей

Головне просте правило: послідовно можна з'єднувати сонячні панелі з однаковим робочим струмом (струмом у ТММ), а паралельно - з однаковою робочою напругою. При цьому при послідовному з'єднанні додається напруга і залишається незмінним струм, а при паралельному з'єднанні додається струм, і залишається незмінною напруга.

Перший спосіб, який ми розглянемо для з'єднання сонячних панелей, це з'єднання в ланцюжок, або «послідовно». Послідовне з'єднання сонячних панелей використовується для збільшення загальної напруги системи. Напруга сонячних панелей, з'єднаних послідовно, додається, що дає більшу загальну вихідну напругу масиву, як показано на рис. 2.38.

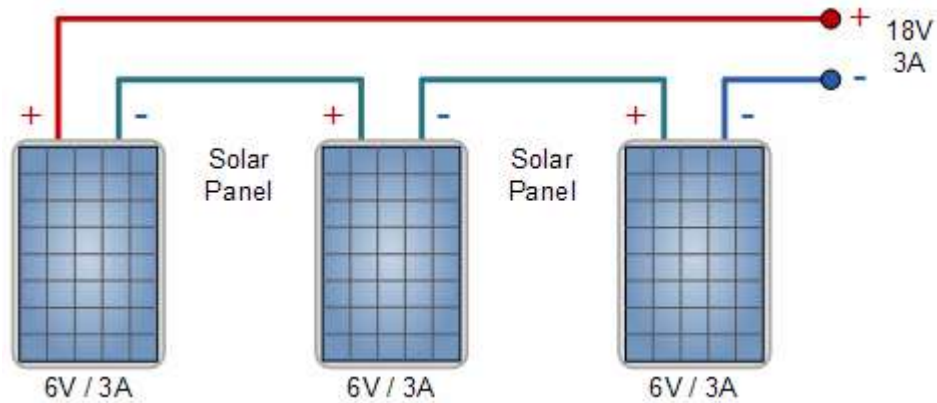


Рисунок 2.38 – Послідовне з'єднання сонячних панелей

У цьому методі всі сонячні панелі мають однаковий тип і номінальну потужність. Загальна вихідна напруга буде сумою вихідної напруги кожної панелі. Тепер давайте подивимося на послідовне з'єднання сонячних панелей з різною номінальною напругою, але з однаковим номінальним струмом (рис. 2.39).

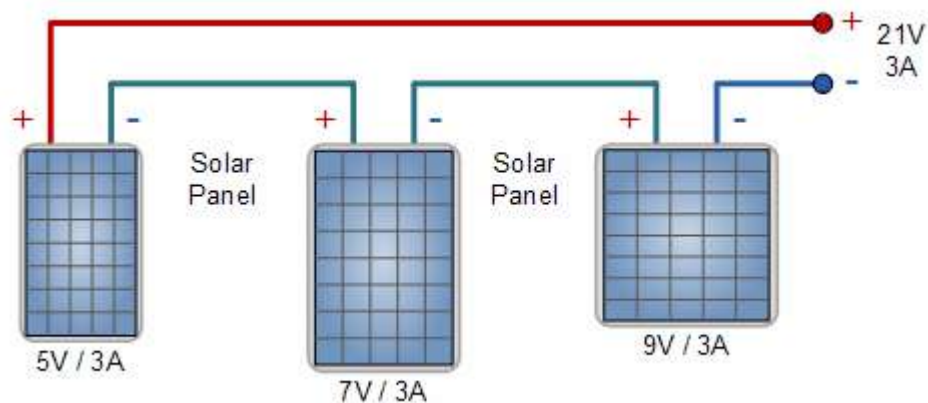


Рисунок 2.38 – Послідовне з'єднання сонячних панелей різною номінальною напругою, але з однаковим номінальним струмом.

У цьому методі всі сонячні панелі мають різну напругу і номінальну потужність, але мають однаковий номінальний струм. Коли вони з'єднані разом послідовно, масив видає 21 вольт при 3,0 ампер або 63 Вт. Знову сила струму залишається незмінною і становить 3,0 ампера, але вихідна напруга підскакує до 21 вольт (5 + 7 + 9).

З'єднання сонячних панелей з різними напругами та струмами в ланцюжок. У цьому методі всі сонячні панелі мають різні параметри та номінальну потужність. Напруги окремих панелей будуть додаватися, як і раніше, але цього разу сила струму буде обмежена значенням самої слаботочної панелі в послідовному ланцюжку, в даному випадку 1 ампер. Тоді масив вироблятиме 19 вольт (3 + 7 + 9) і 1,0 ампер, або лише 19 ват з 69 доступних, що знижує ефективність масиву (рис.2.39).

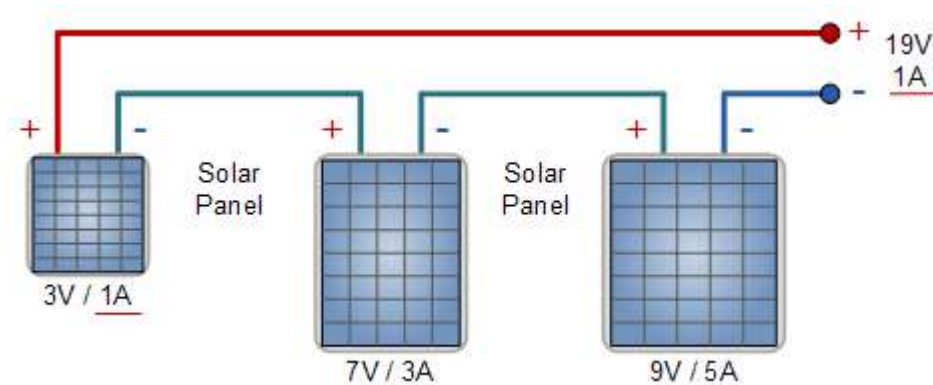


Рисунок 2.39 – Послідовне з'єднання сонячних панелей з різною номінальною напругою та з різним номінальним струмом

З рис. 2.39 бачимо, що сонячна панель, розрахована на 9 вольт, 5 ампер, використовуватиме лише одну п'яту або 20% свого максимального потенціалу струму, що знижує її ефективність. Послідовне з'єднання сонячних панелей з різним номінальним струмом слід використовувати лише тимчасово, оскільки сонячна панель з найменшим номінальним струмом визначає вихідний струм всього масиву.

Наступний метод з'єднання сонячних панелей, який ми розглянемо, називається «паралельне з'єднання». Паралельне з'єднання сонячних панелей

використовується для збільшення загального струму системи. При паралельному підключенні ви з'єднуєте всі позитивні клеми разом (позитивні з позитивними) і всі негативні клеми разом (негативні з негативними), поки не залишиться одне позитивне та негативне з'єднання для підключення до сонячного контролера та батарей.

Коли ви з'єднуєте сонячні панелі паралельно, загальна вихідна напруга залишається такою, як і для однієї панелі, але вихідний струм стає сумою вихідного сигналу кожної панелі, як показано на рис. 2.40.

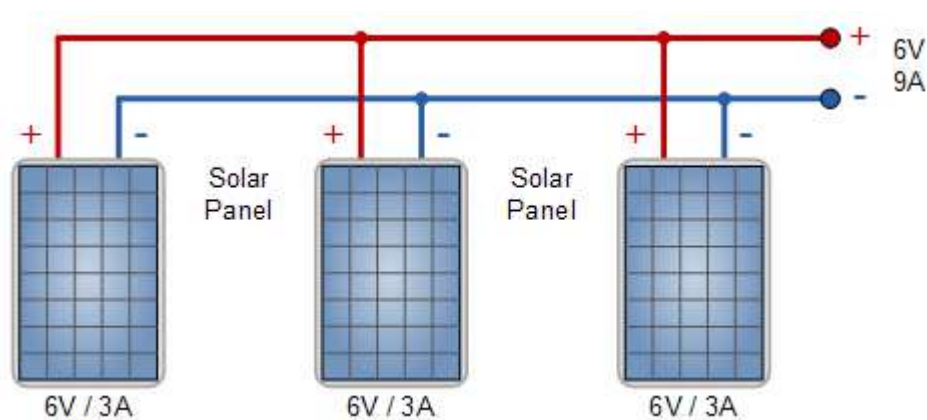


Рисунок 2.40 – Паралельне з'єднання сонячних панелей

У цьому методі всі сонячні панелі мають однаковий тип і номінальну потужність. При використанні тих же трьох панелей на 6 вольт і 3,0 ампера, що й вище, вихідна напруга залишиться незмінною на рівні 6 вольт, але сила струму збільшиться до 9,0 ампер ($3 + 3 + 3$) і загальна потужність панелей при паралельному з'єднанні складе 54 Вт.

Паралельне з'єднання сонячних панелей з різними напругами та струмами. Це найскладніше та непередбачуване з'єднання сонячних панелей. Однозначно можна сказати, що напруга не буде вищою, ніж у панелі з найвищою напругою і струм не буде більше, ніж сума струмів панелей. Теоретично струми повинні складатися, як і раніше, але напруга буде прагнути до найнижчого значення. Точніше, напруга встановиться десь у проміжку між найнижчим і найвищим, але через зміщення робочої точки на вольтамперній характеристиці у різних модулів вийде так, що модуль з

найнижчою напругою буде працювати як навантаження (невелика, тому що сонячна панель - це діод з певною зворотною напругою пробою), а панель з найвищою напругою буде працювати в точці на характеристиці, набагато лівіше точки максимальної потужності.

Тому сонячні панелі повинні мати однакову вихідну напругу, щоб їх можна було безпечно та ефективно використовувати паралельно. При паралельному з'єднанні сонячних панелей важливо, щоб всі вони мали однакове номінальне значення напруги, але не обов'язково, щоб вони мали однакове значення сили струму.

Наведемо приклад реалізації системи зарядки Li-ion акумулятор 18650, від сонячної батареї 5 В, 1.2 Вт (4 шт) в рамках розробки системи автономного живлення ВЕАМ робота. Для цього будемо використовувати модуль TP4056, загальний вигляд якого представлений на рис. 2.41.

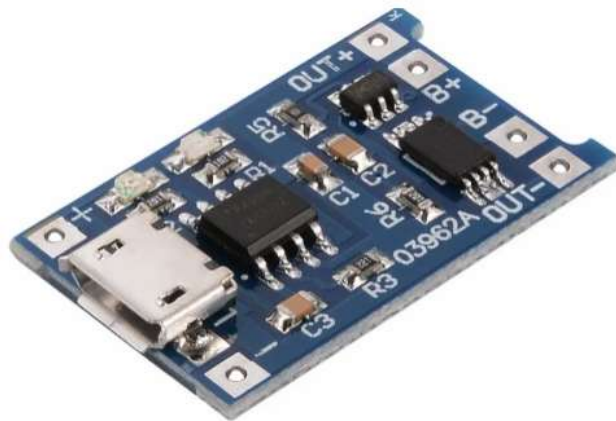


Рисунок 2.41 – Загальний вигляд модуля TP4056. [127]

Технічні характеристики модуля TP4056 та його аналогів наведені в таблиці 2.30.

Таблиця 2.30 – Технічні характеристики модуля TP4056 та його аналогів

Характеристика	Моделі модулів			
	TP4056 1A	TP4056 0.5A	TP4056 2A	TP4056 3A
1	2	3	4	5
Максимальний струм заряду (А)	1	0.5	2	3

Продовження таблиці 2.30

1	2			
Напруга входу (В)	4.5-5.5			
Напруга виходу (В)	4.2	4.2	4.2	4.2
Захист від перезаряду	Так	Так	Так	Так
Захист від перевантаження	Так	Так	Так	Так
Тип роз'єму	Мікро USB			

Зверніть увагу, що модулі TP4056 розрізняються за максимальним струмом заряду, що означає, скільки енергії вони можуть передавати на підключену літій-іонну батарею за одиницю часу.

Схема підключення модуля автономної зарядки BEAM робота на базі TP4056 представлена на рис. 2.42.

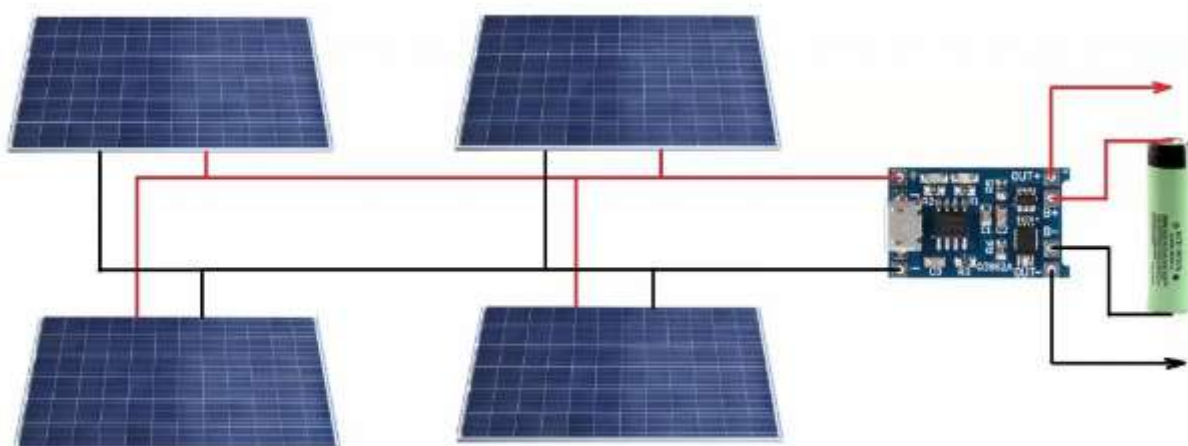


Рисунок 2.42 – Схема підключення модуля автономної зарядки BEAM робота

Важливо зауважити, що для захисту від зворотного спрямування між модулем TP4056 і сонячної панелі в розрив ланцюга vcc рекомендується ставити діод «Шотке» 1N4007. Альтернативна схема підключення модуля TP4056 до сонячних панелей. на рисунке 2.43.

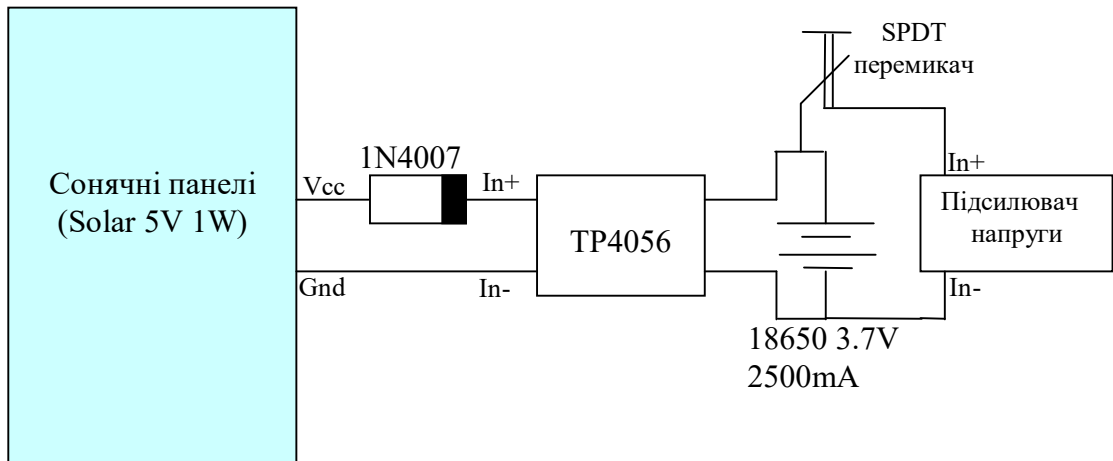


Рисунок 2.43 – Альтернативна схема підключення модуля TP4056 до сонячних панелей

Сонячні елементи підключені до входу зарядного пристрою літієвої батареї (TP4056), вихід якого підключений до літієвої батареї 18560. Підсилювач напруги 5 також підключений до акумулятора і використовується для перетворення від 3,7 В постійного струму до 5 В постійного струму.

Напруга зарядки зазвичай становить близько 4,2 В. Вхід підсилювача напруги варіюється від 0,9 до 5,0 В. Таким чином, він покаже близько 3,7 на його вході, коли батарея розряджається, і 4.2 В, коли вона заряджається. Вихідний сигнал підсилювача до решти ланцюга підтримуватиме його значення 5 В. На рис. 2.44 наведено зібраний макет зарядки акумуляторних батарей 18650.

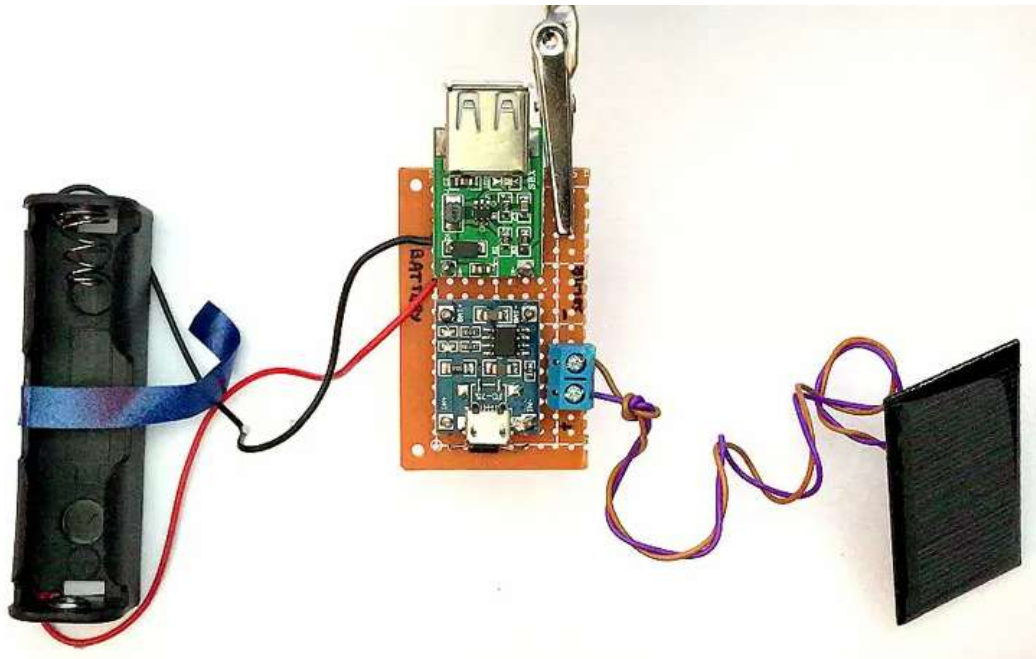
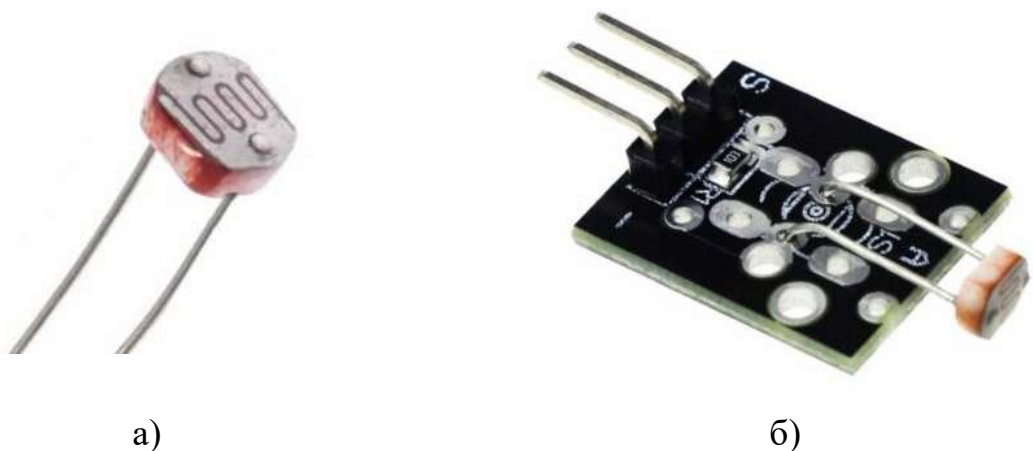


Рисунок 2.44 – Зібраний макет зарядки акумуляторних батарей 18650

У більшості випадків для BEAM робототехніки можна використовувати метод «сонячного трекера». Сонячний трекер є електронно-механічною системою, призначеною для наведення сонячних панелей на Сонце. Система відстежує положення Сонця на небосхилі, і керує сервоприводом, який повертає панелі у відповідному напрямку. Застосування такого трекера дозволяє отримати максимальну продуктивність від сонячних батарей. Для адаптивної системи відстеження використовується фоторезисторний датчик типу GL5528 (рис.2.55).



а) Фоторезистор GL5528[128]; б) Модуль фоторезистора KY-018 [129].

Рисунок 2.55 – Модулі на базі фоторезисторів.

Технічні характеристики модуля датчика GL5528 наведені в таблиці 2.31.

Таблиця 2.31 – Технічні характеристики модуля датчика GL5528 [128].

Характеристика	Датчик GL5528
Тип датчика	Фоточутливий
Принцип роботи	Фоторезистор (LDR)
Вимірюваний параметр	Інтенсивність світла
Відгук на світ	Чутливий
Діапазон вимірювань	Залежить від типу та виробника, зазвичай від кількох люкс до кількох тисяч люкс
Точність виміру	Середня
Діапазон робочих температур	Зазвичай від -30 °C до +70 °C
Напруга живлення	Зазвичай 3.3V або 5V
Струм споживання	Низький
Вихідний сигнал	Аналоговий

Датчик GL5528 чутливий до інтенсивності світла та змінює свій опір залежно від рівня освітленості. Цей датчик широко використовується в різних програмах, таких як автоматичне увімкнення/вимкнення освітлення, контроль яскравості дисплеїв та інші системи, де необхідно вимірювати або регулювати освітлення.

Схема підключення масиву датчиків GL5528 для розробки системи злиження за Сонцем на базі мікроконтролера представлена на рис. 2.56, а її фізична реалізація в макеті представлена на рис. 2.57.

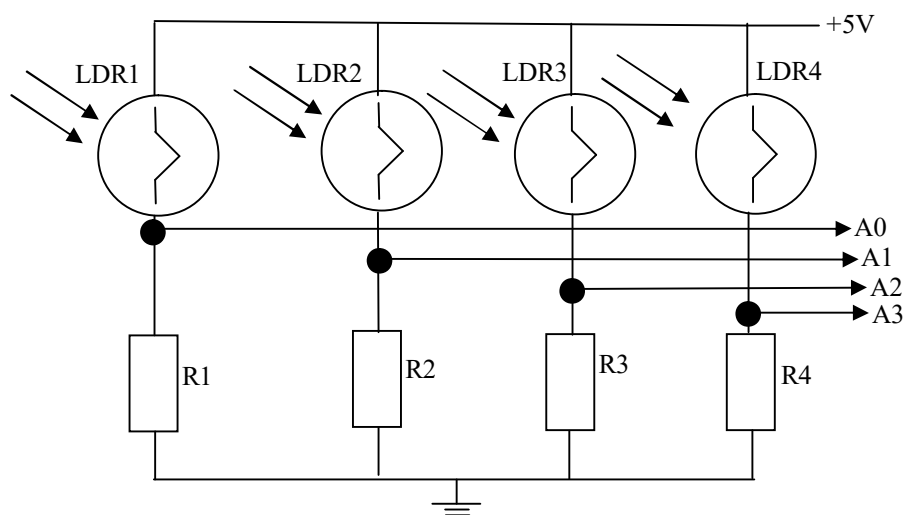


Рисунок 2.56 – Схема підключення масиву датчиків GL5528 для розробки системи стеження за Сонцем

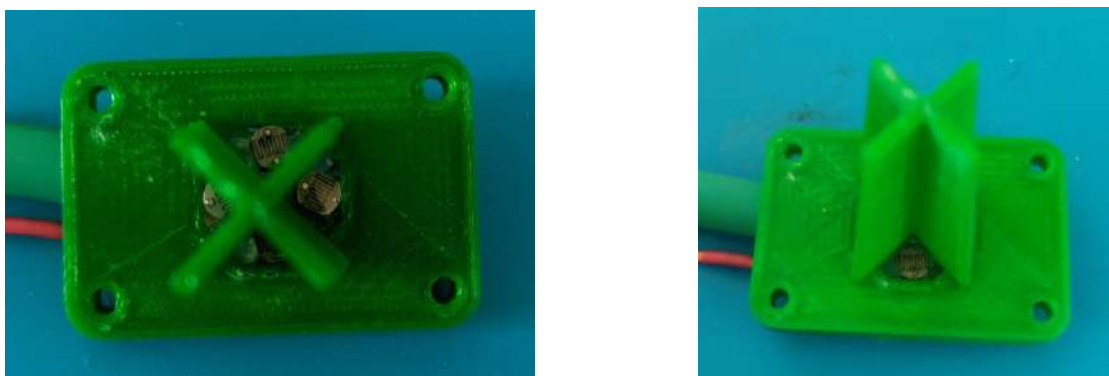


Рисунок 2.57 – Реалізація масиву датчиків GL5528 для системи стеження за Сонцем для ВЕАМ робота.

2.6 Логічні елементи у ВЕАМ робототехніці.

Логічні елементи виконують логічні операції. За допомогою логічних елементів можна скласти логічні схеми для роботів, що реалізують будь-які функції.

Алгебра логіки, розроблена Джорджем Булем (булева алгебра) – основа всіх сучасних комп'ютерів та цифрових пристроїв [130]. Знання базових елементів алгебри логіки необхідне для створення ВЕАМ-роботів на логічних ланцюгах. Алгебра логіки оперує всього двома значеннями –

логічною правдою та логічною неправдою. Інакше ці значення називаються логічною одиницею та логічним нулем. Булева алгебра включає лише три базові операції (всі інші операції можуть бути виражені через три базові логічні операції) – логічне заперечення (інверсія), логічне множення (кон'юнкція) та логічне додавання (диз'юнкція).

Логічні елементи виконують логічні операції. За допомогою логічних елементів можна складати логічні схеми для роботів, що реалізують будь-які функції.

Базових логічних елементів (логічних вентилів) всього три:

- Елемент НЕ;
- Елемент І;
- ЕЛЕМЕНТ АБО.

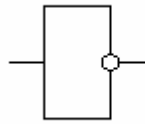
Кожен із логічних елементів реалізує відповідну логічну операцію та має умовне графічне позначення.

Логічне заперечення (інверсія). Приєднання частки НЕ до присудка даного висловлювання A називається інверсією або запереченням A . Якщо висловлювання A істинно, його заперечення хибно, і навпаки. Інверсії відповідає наступна таблиця істинності (2.32):

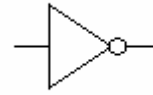
Таблиця 2.32 – Таблиця істинності НЕ

A	\bar{A}
0	1
1	0

З таблиці 2.32 легко побачити, що результатом операції логічного заперечення є "правда" (1), коли аргумент набуває значення "неправда" (0), і значення "неправда" (0), коли аргумент набуває значення "правда" (1). Умовне позначення елемента НЕ (інвертор) представлено на рис. 2.58



IEC



ANSI

Рисунок 2.58 – Умовне позначення елемента інвертора (НЕ)

Принцип роботи інвертора представлений на рис. 2.59

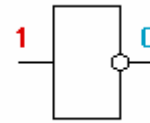
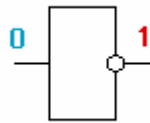


Рисунок 2.59 – Принцип роботи інвертора (НЕ)

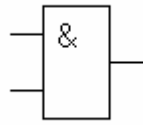
Логічне множення (кон'юнкція). Поєднання двох (або кількох) висловлювань союзом І називається кон'юнкцією чи логічним множенням. Логічне множення схоже на союз І в природній мові, якщо він вживається в сенсі «і те, і це». Операцію логічного множення часто називають операцією логічного І.

Вислів правдивий (рівно 1) тоді, коли рівні 1 (првдаві) обидві змінні. Кон'юнкція позначається символом, знаком множення або знаком амперсанд. Правила логічного множення двох висловлювань можна звести до наступної таблиці 2.33:

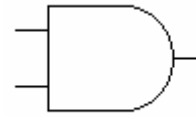
Таблиця 2.33 – Правила логічного множення двох висловлювань

A	B	$A * B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Умовне позначення елемента І представлено на рис. 2.60:



IEC



ANSI

Рисунок 2.60 – Умовне позначення елемента І

Принцип роботи логічного елемента І представлений на рис. 2.61.

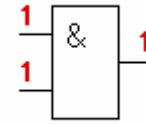
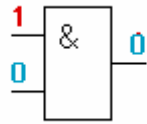
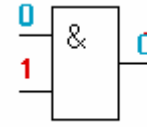
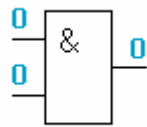


Рисунок 2.61 – Принцип роботи логічного елемента І

Логічне складання (диз'юнкція). Поєднання двох (або кількох) висловлювань союзом АБО називається диз'юнкцією або логічним додаванням. Логічне складання схоже із союзом АБО у природній мові, якщо він вживається в сенсі «або те, або це, або обидва одночасно». Операцію логічного складання часто називають операцією логічного АБО.

Висловлювання $A+B$ правдиве (рівно 1) тоді, коли правдиве хоча б одне з висловлювань A або B , що входять до нього, і неправдиве тільки тоді, коли помилкові обидва доданки (рівні 0).

Слід звернути увагу, що при додаванні двох логічних одиниць виходить логічна одиниця. Алгебра логіки оперує лише двома значеннями - неправдою (логічний 0) та правдою (логічна 1). Правда не може бути подвійною або правдою у квадраті, тому при складанні двох правд ми отримуємо просто правду. Так само при складанні двох логічних сигналів високого рівня ми отримуємо логічний сигнал високого рівня.

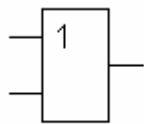
Диз'юнкція позначається знаком додавання (+).

Правила логічного додавання двох висловлювань можна звести до наступної таблиці 2.34 правдивості для диз'юнкції.

Таблиця 2.34 – Правила логічного додавання двох висловлювань

A	B	$A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Умовне позначення елемент АБО представлений на рис. 2.62:



IEC



ANSI

Рисунок 2.62 – Умовне позначення елемента АБО

Принцип роботи логічного елемента АБО представлений на рис.2.63.

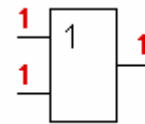
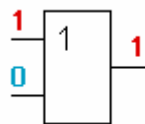
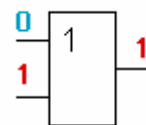
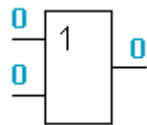


Рисунок 2.63 – Принцип роботи логічного елемента АБО

Комбіновані елементи. Насправді часто використовуються комбіновані елементи І-НЕ і АБО-НЕ. За допомогою логічних елементів І-НЕ можна реалізувати будь-яку з базових логічних операцій, а отже, і побудувати будь-

яку логічну схему. Те саме можна зробити і із застосуванням елемента АБО-НЕ.

Умовне позначення елемента АБО-НЕ представлено на рис. 2.64



Рисунок 2.64 – Умовне позначення елемент АБО-НЕа

Елемент І-НЕ послідовно реалізує операцію логічного множення та є інверсію отриманого результату. За допомогою базових елементів І-НЕ можна уявити так, як представлено на рис. 2.65

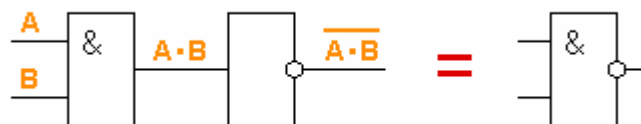


Рисунок 2.65 – Елемент І-НЕ

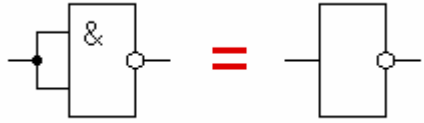
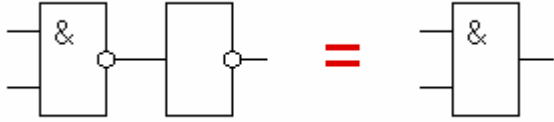
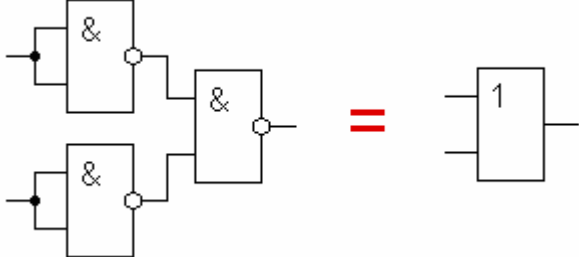
Принцип роботи логічного елемента І-НЕ представлений на рис. 2.66.



Рисунок 2.66 – Принцип роботи логічного елемента І-НЕ

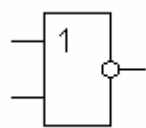
Базові логічні елементи, побудовані на основі елементів І-НЕ представлені в таблиці 2.35.

Таблиця 2.35 – Базові логічні елементи, побудовані на основі елементів І-НЕ

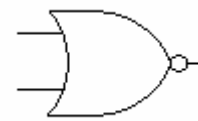
Позначення	Опис
	<p>Логічний елемент НЕ з елемента І-НЕ</p>
	<p>Логічний елемент І з елементів І-НЕ</p>
	<p>Логічний елемент АБО з елементів І-НЕ</p>

Елемент АБО-НЕ послідовно реалізує операцію логічного додавання, а потім інверсію отриманого результату.

Умове позначення елемента АБО-НЕ представлено на рис. 2.67



IEC



ANSI

Рисунок 2.67 – Умове позначення елемента АБО-НЕ

За допомогою базових елементів АБО-НЕ можна представити так, як представлено на рис. 2.68

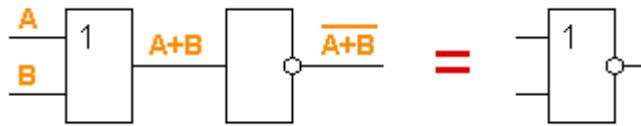


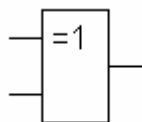
Рисунок 2.68 – Подання елемента АБО-НЕ за допомогою базових елементів

Принцип роботи логічного елемента АБО-НЕ представлений на рис. 2.69.

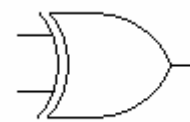


Рисунок 2.69 – Принцип роботи логічного елемента АБО-НЕ

Виключне АБО (XOR). Умовне позначення елемента Виключне АБО (XOR) представлено на рис. 2.70.



IEC



ANSI

Рисунок 2.70 – Умовне позначення елемента виключне АБО (XOR)

Елемент Виключне АБО реалізує операцію логічного додавання за модулем 2, як показано на рис. 2.71.

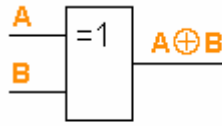


Рисунок 2.71 – Елемент Виключне АБО

На виході елемента Виключне АБО буде логічна 1, якщо один із входів дорівнює 1, у всіх інших випадках, на виході буде 0. В загальному випадку, коли кількість одиниць на вході буде непарна, то на виході буде 1, в протилежному випадку – на виході буде 0.

2.7 Питання до II розділу

1. Які основні компоненти входять в структурну схему мобільного робототехнічного комплексу із трьома рівнями системи управління?
2. Як взаємодіють різні рівні управління (низький, середній, високий) у мобільному роботі та як це сприяє кращій продуктивності та адаптивності?
3. Які завдання зазвичай доручаються кожному з трьох рівнів системи управління, і як вони взаємодіють для досягнення спільної мети?
4. Які переваги та обмеження можуть виникати при використанні такої трьорівневої структури управління у мобільних роботах?
5. Які приклади реальних проектів або додатків можна навести, щоб продемонструвати ефективність та користь трьорівневої системи управління в робототехніці?
6. Які типи датчиків та актуаторів зазвичай використовуються в апаратному забезпеченні ВЕАМ роботів і як вони сприяють їхній функціональності?
7. Які специфічні особливості апаратного забезпечення ВЕАМ роботів роблять їх ефективними в реалістичних середовищах, наприклад, в умовах лісу чи під водою?

8. Які вимоги щодо живлення та джерел живлення зазвичай ставляться перед апаратурою BEAM роботів для забезпечення надійності та тривалої роботи?

9. Які технології мікроелектроніки та мікроконтролерів найчастіше використовуються у BEAM робототехніці для створення більш розумних та автономних роботів?

10. Які виклики виникають при проектуванні та виготовленні апаратного забезпечення для BEAM роботів, і які стратегії дозволяють їх успішно подолати?

11. Які основні категорії датчиків існують у класифікації датчиків для BEAM роботів, і як вони поділяються за їхньою функціональністю?

12. Які датчики відповідають за сприйняття зовнішнього середовища, наприклад, світла, температури чи звуку, і як ця інформація використовується для управління BEAM роботами?

13. Які датчики відповідають за зворотний зв'язок і контроль за рухом робота, такі як енкодери чи гіроскопи, і як вони сприяють роботам у вирішенні завдань?

14. Які датчики можуть бути використані для навігації робота в просторі та уникнення перешкод, і як вони допомагають забезпечити безпеку та точність руху?

15. Які переваги та недоліки різних типів датчиків в класифікації для BEAM роботів, і які фактори впливають на вибір конкретного датчика для конкретної задачі?

16. Які основні функціональні модулі доступні для BEAM роботів і як вони розширюють їхні можливості?

17. Які модулі сприяють підвищенню мобільності BEAM роботів і дозволяють їм пристосовуватися до різних умов довкілля?

18. Які модулі використовуються для комунікації та взаємодії BEAM роботів з іншими системами або з користувачем?

19. Які модулі для живлення дозволяють забезпечувати автономну роботу ВЕАМ роботів і як вони оптимізують споживання енергії?

20. Які важливі фактори вибору модулів для ВЕАМ роботів, такі як сумісність, розмір та інтерфейс, і як вони впливають на проектування та функціональність робота?

21. Які основні типи автономних модулів живлення існують для ВЕАМ роботів, і в чому полягає їхнє відмінність від інших джерел живлення?

22. Які параметри і характеристики автономних модулів живлення слід враховувати при виборі для конкретного ВЕАМ робота, такі як ємність, напруга, струм і технологія батарей?

23. Як автономні модулі живлення впливають на тривалість роботи і його продуктивність, і як це може бути важливо для конкретних застосувань?

24. Які стратегії збереження енергії та управління живленням можуть бути використані для максимізації автономності ВЕАМ робота?

25. Які важливі аспекти безпеки пов'язані з використанням автономних модулів живлення, і як їхнє правильне використання може запобігти аваріям чи пошкодженням робота?

26. Які логічні елементи зазвичай використовуються в ВЕАМ робототехніці для реалізації різних функцій і реакцій на навколишнє середовище?

27. Які специфічні властивості логічних елементів роблять їх популярними серед конструкторів ВЕАМ роботів, особливо з урахуванням енергоефективності?

28. Яким чином логічні елементи впливають на процес управління рухом та реакцією ВЕАМ робота на зміни в середовищі?

29. Які можливості масштабування та комбінування логічних елементів дозволяють створювати різноманітні інтелектуальні реакції в ВЕАМ роботах?

30. Як логічні елементи сприяють удосконаленню адаптивності та автономності ВЕАМ роботів, зокрема в їхній здатності впливати на навколишнє середовище без зовнішнього втручання?

3. СХЕМОТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВЕАМ РОБОТІВ

3.1 Реалізація найпростішої сенсорної системи для ВЕАМ робота

Використання фотосенсорів у системах для ВЕАМ (Biology, Electronics, Aesthetics та Mechanics) роботів залишається актуальним завданням і має безліч переваг. ВЕАМ-робототехніка заснована на біологічних принципах і прагне створити роботів, які відтворюють певні аспекти живих організмів, включаючи їхню здатність взаємодіяти з навколишнім середовищем. Фотосенсори відіграють важливу роль у цьому контексті з таких причин [131]:

- орієнтація та навігація: Фотосенсори можуть використовуватися для визначення напрямку та інтенсивності світла, що дозволяє роботам орієнтуватися у навколишньому середовищі. Це особливо корисно для роботів, які повинні йти до джерела світла або уникати його;

- реакція на зовнішні зміни: Фотосенсори можуть допомогти роботам виявляти зміни у навколишньому середовищі, такі як зміни освітленості або перешкоди. Це дозволяє їм адаптуватися до змін та уникати зіткнень;

- енергозбереження: У ВЕАМ-робототехніці одним із ключових принципів є ефективне використання енергії, наслідуючи біологічні організми. Фотосенсори можуть допомогти роботам регулювати свою активність залежно від рівня освітленості, що дозволяє знизити споживання енергії;

- моделювання біологічних процесів: Використання фотосенсорів у ВЕАМ-роботах може допомогти моделювати біологічні процеси, такі як фотосинтез, що може призвести до розробки більш стійких та автономних систем;

- експерименти та дослідження: ВЕАМ-робототехніка часто використовується у наукових дослідженнях та експериментах, і фотосенсори

можуть бути корисними інструментами для вивчення поведінки роботів у різних умовах;

Загальний вид фоторезисторів, які можна використовувати при проектуванні BEAM роботів, представлений на рис. 3.1.



а)



б)



в)



г)

а) ФПФ-9-2 [132]; б) GL5516 [133];
в) SFH 2500 FA-Z IR Si Photodiode [134]; г) TSTS7100 [135]

Рисунок 3.1 – Моделі фоторезисторів

Насправді у схемі цього робота можна застосувати будь-які доступні фотосенсори. У схемі можуть бути використані не тільки фототранзистори, а й фотодіоди та фоторезистори.

Так, якщо фототранзистор знайти не вдасться, у схемі робота можна використовувати, наприклад, фоторезистор або фотодіод. Схема при цьому практично не змінюється, але може вимагати невеликого налаштування.

Для налаштування знадобляться два змінних резистора: один із опором від 500 кОм до 1 МОм та один із опором від 1 кОм до 5 кОм. Обидва резистори R1 і R2 (див. рис. 3.2) з'єднують послідовно і включають їх між входом одного з каналів драйвера L293 і загальним проводом GND. До цього входу

Тепер можна подати живлення. Повільно переміщаючи двигун резистора R1 (зменшуючи його опір) необхідно досягти моменту, коли двигун почне впевнено обертатися. Точніше момент включення можна налаштувати, обертаючи двигун R2.

Якщо тепер зменшити ступінь освітленості фотосенсора (розташувати фотосенсор над чорною смугою), то двигун обертатися перестане. Якщо цього не виходить, навіть зменшивши і R1, і R2 до нуля, то, швидше за все, були переплутані виведення застосованого фототранзистора або фотодіода. У цьому випадку висновки фотосенсора потрібно поміняти місцями та провести налаштування заново.

На цьому налаштування одного фотосенсора буде закінчено. Відключивши живлення та від'єднавши пару резисторів R1 та R2 від схеми, можна виміряти омметром їх загальний опір. Потім, підібравши постійний резистор з близьким опором, остаточно впаяти його в схему. Аналогічно потрібно налаштувати решту сенсорів.

Якщо все ж таки залишити змінні резистори в схемі, то безпосередньо перед демонстрацією свого робота можна підлаштувати його реакцію до навколишнього освітлення.

Варто згадати інші модифікації схеми:

- якщо у схемі робота зі світлодіодним підсвічуванням використовувати фототранзистори та світлодіоди інфрачервоного діапазону, то підсвічування фотосенсорів буде непомітним;

- якщо паралельно фотосенсору включити конденсатор ємністю близько 0,1 - 1 мкФ, це трохи змінить характер поведінки робота.

3.2 Схема руху по лінії на базі логічної мікросхеми L293D.

У схемі цього BEAM робота використовується два датчики, реалізовані на фототранзисторах, які підключалися безпосередньо до входів драйвера двигунів L293D. Алгоритм руху такого робота був дуже простим:

- коли під лівим і правим датчиком знаходилося біле поле, то вмикалися обидва мотори і робот рухався вперед;

- якщо один із датчиків потрапляв на чорну лінію, що проходить між ними, то відповідний мотор зупинявся і робот повертався, вирівнюючи своє положення над лінією.

Такий робот може дуже впевнено йти по лінії, якщо вона не має крутих поворотів. Якщо ж швидкість робота буде високою, а поворот різким, то ймовірність сходу з лінії такого робота стає досить великою.

Для того щоб зробити робота, що не "бояться" різких поворотів, достатньо додати в його схему логічний елемент, при цьому залишивши лише один датчик. Траєкторії руху такого робота показано на рис. 3.3

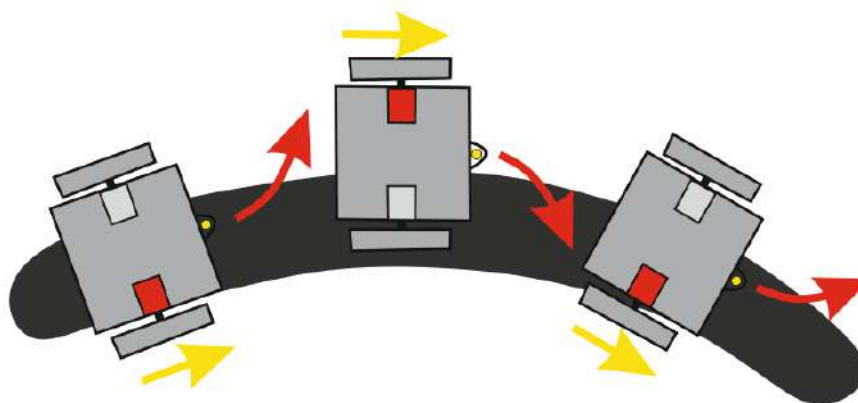


Рисунок 3.3 – Траєкторії руху по лінії

Алгоритм руху ВЕАМ робота буде наступним: коли датчик перебуватиме над чорним полем, то один з моторів буде ввімкнений, а інший вимкнений. Таким чином, робот повертатиметься доти, доки датчик не перейде на біле поле. Тоді працюючий мотор вимкнеться, а вимкнений - увімкнеться. Робот почне повертатись в інший бік, поки датчик знову не опиниться над чорною лінією. Алгоритм повториться знову, і робот, злегка виляючи з боку на бік, почне рухатися вздовж кордону білого і чорного.

Логічний елемент, який ми додамо до схеми робота, називається елемент "НЕ", або "інвертор". Інвертор має один вхід та один вихід. Коли на вхід інвертора подається логічна "1" (логічна одиниця - сигнал високого рівня), то

на виході ми матимемо логічний "0" (логічний нуль - низький рівень сигналу), а коли на вхід буде подано логічний "0", то на виході буде присутня логічна "1". Схема робота буде виглядати так (рис.3.4).

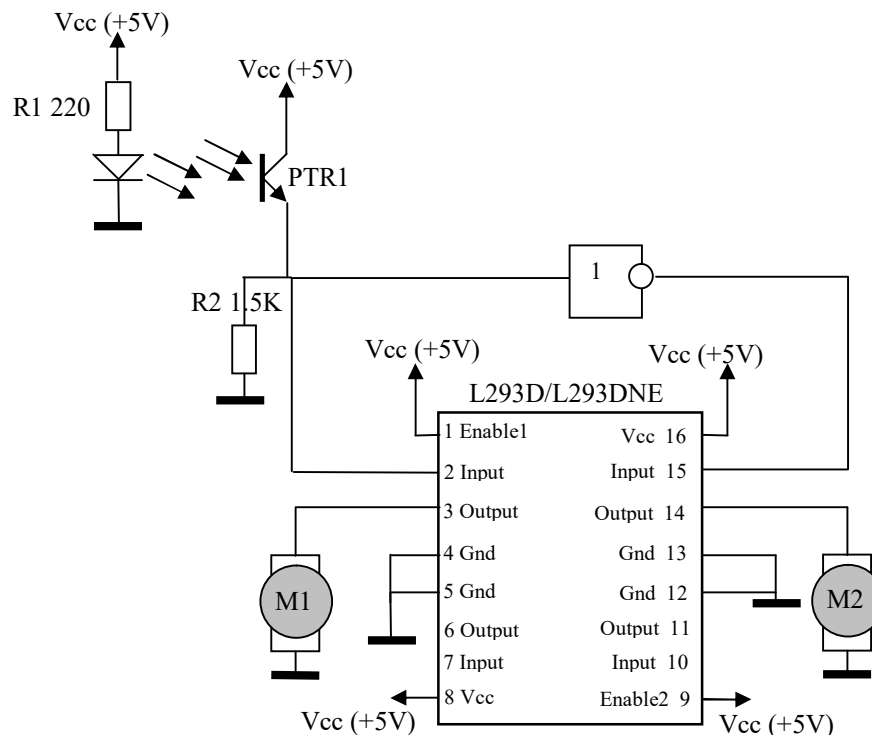


Рисунок 3.4 – Схема управління

При підключенні фототранзистора використаний резистор R2, що підтягує, так як у ТТЛ-мікросхем на вході при відсутності сигналу присутній високий логічний рівень (логічна "1"). Резистор, що підтягує вхід до "землі", забезпечить низький рівень (логічний "0") за відсутності сигналу від фототранзистора.

Принцип роботи схеми (рис.3.4) побудовано на інвертуванні сигналу, що надходить від фототранзистора. Коли датчик буде освітлений (перебуває над білим полем), фототранзистор відкриється і на вході драйвера INPUT1 моторів L293D з'явиться сигнал високого рівня (логічна "1"). Мотор M1 обератиметься, як показано на рис. 3.5. Крім того, сигнал від фототранзистора буде подано на вхід елемента "НЕ", який перетворить логічну "1" на логічний "0" і подасть його на вхід INPUT4. Мотор M2 стоятиме.

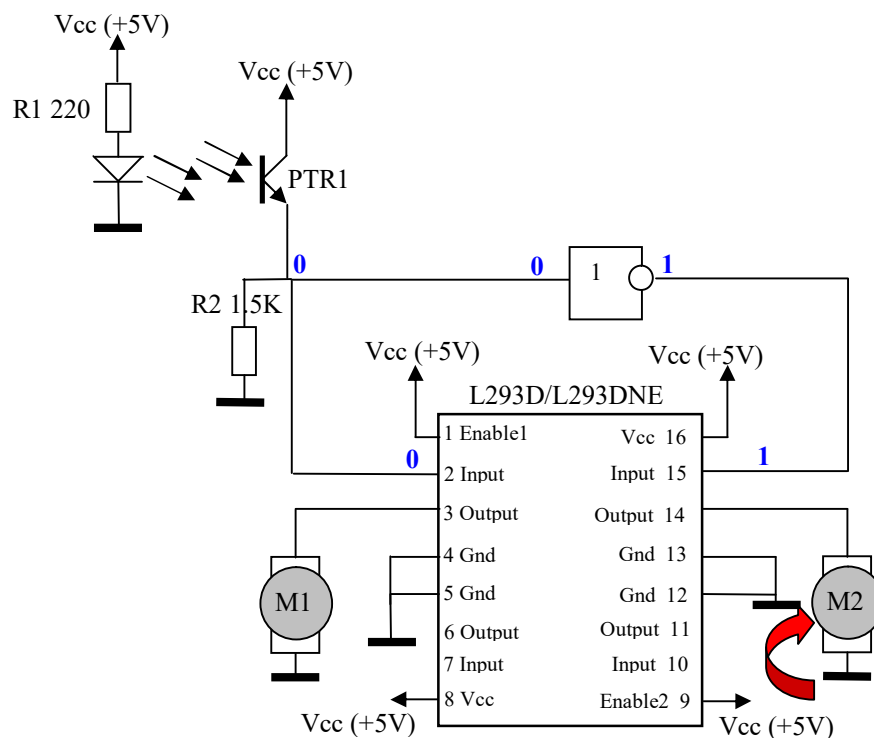


Рисунок 3.6 – Стан 2 (фототранзистор не освітлений)



Рисунок 3.7 – Логічна структура мікросхем аналогів.

Розташування логічних елементів "НЕ" всередині мікросхем К155ЛН1 та SN7404N. До 14-го виведення підключають живлення мікросхеми (+5 вольт), до 7-го - загальний дріт ("землю").

Також можна застосувати мікросхеми стандартної логіки К155ЛА3 (4 елементи 2І-НЕ) або К155ЛЕ1 (4 елементи 2ІІІ-НЕ), з'єднавши входи одного з елементів і отримавши таким чином елемент "НЕ".

Невикористовувані входи логічної мікросхеми можна з'єднати з живленням через резистор з опором 1 КОм. Це забезпечить стабільність її роботи, як показано на рис. 3.8.

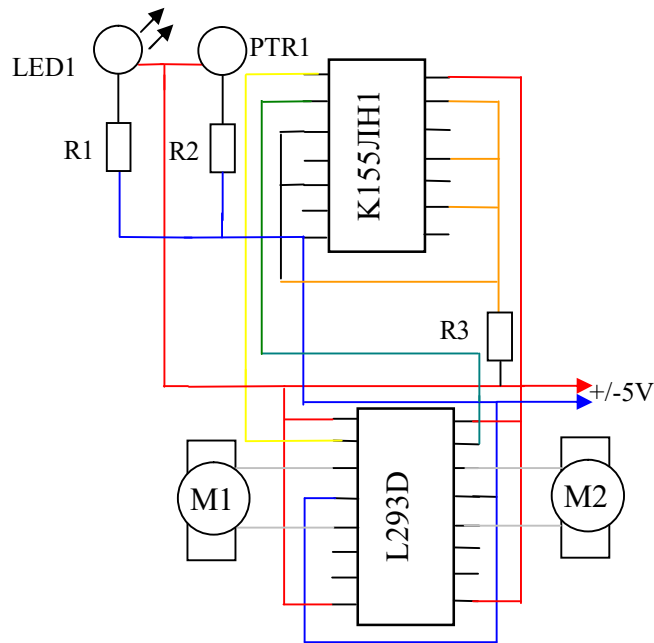


Рисунок 3.8 – Схема управління

Робот, що описується, може бути реалізований і без використання підтягуючого резистора. У цьому випадку емітер фототранзистора можна підключити до "землі" і використовувати два елементи "НЕ", як показано на рис. 3.9.

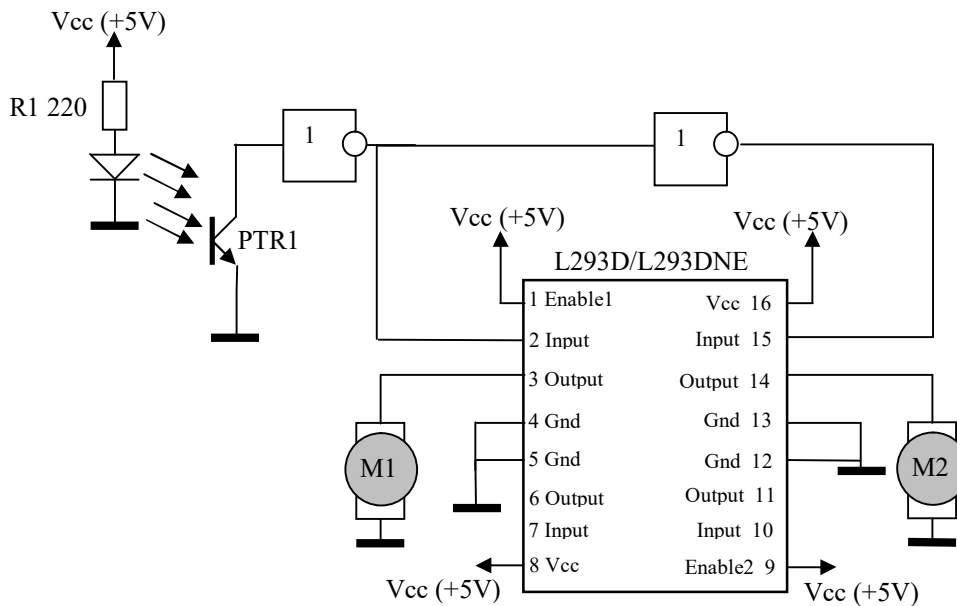


Рисунок 3.9 – Альтернативна схема управління

Слід зауважити, що логічний елемент, окрім свого прямого призначення, може бути підсилювачем сигналу. Тому саме такий варіант схеми часто використовують при створенні спортивних роботів для змагань "Гонки по лінії".

Принцип поведінки робота ґрунтується на "фоторецепції" і є типовим для цілого класу ВЕАМ-роботів. У живій природі, якою наслідуватиме наш робот, фоторецепція - одне з основних фотобіологічних явищ, в якому світло постає як джерело інформації.

Як перший досвід звернемося до пристрою ВЕАМ-робота, що рухається вперед, коли на нього падає промінь світла, і зупиняється, коли світло перестає його освітлювати. Поведінка такого робота називається фотокінезисом – неспрямованим збільшенням або зменшенням рухливості у відповідь на зміни рівня освітленості.

У пристрої робота, крім мікросхеми драйвера моторів L293D, використовуватиметься лише один фотоелемент і один електромотор. Як

фотоелемент можна застосувати не тільки фототранзистор, але і фотодіод або фоторезистор.

У конструкції робота ми використовуємо фототранзистор n-p-n структури як фото сенсор, як показано на рис. 3.10. Фототранзистори на сьогоднішній день є, мабуть, одним із найпоширеніших видів оптоелектронних приладів і відрізняються гарною чутливістю та цілком прийнятною ціною.

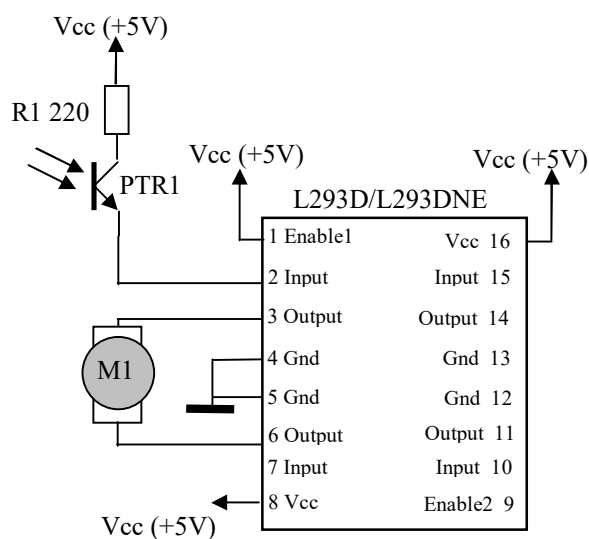


Рисунок 3.10 – Схема використання фототранзистору n-p-n структури як фотосенсор

На рисунку 3.10 наведено монтажну та принципову схеми робота, і якщо ви ще не дуже добре знайомі з умовними позначеннями, то, виходячи з двох схем, неважко зрозуміти принцип позначення та з'єднання елементів. Провід, що з'єднує різні частини схеми з "землею" (негативним полюсом джерела живлення), зазвичай не зображують повністю, а на схемі малюють невелику рису, що означає, що це місце з'єднується з "землею". Іноді поруч із такою рисою пишуть три літери "GND", що означає "землю" (ground). Vcc означає з'єднання з позитивним полюсом джерела живлення. Замість літер Vcc часто пишуть +5V, показуючи цим напругу джерела живлення.

Принцип дії схеми роботи дуже простий. Коли на фототранзистор PTR1 впаде промінь світла, то на вході INPUT1 мікросхеми драйвера двигунів

з'явиться позитивний сигнал і двигун M1 почне обертатися. Коли фототранзистор перестане освітлюватися, сигнал на вході INPUT1 зникне, двигун перестане обертатися та робот зупиниться.

Щоб компенсувати струм, що проходить через фототранзистор, в схему введений резистор R1, номінал якого можна вибрати близько 200 Ом. Від номіналу резистора R1 залежатиме не лише нормальна робота фототранзистора, а й чутливість робота. Якщо опір резистора буде більшим, то робот реагуватиме лише на дуже яскраве світло, якщо - невеликим, то чутливість буде вищою. У жодному разі не слід використовувати резистор із опором менше 100 Ом, щоб захистити фототранзистор від перегріву та виходу з ладу.

Зробити робота, що реалізує реакцію фототаксису (спрямованого руху до світла або від світла), можна з використанням двох фотосенсорів.

Коли на один із фотосенсорів такого робота потрапляє світло, вмикається відповідний сенсор електромотор і робот повертає у бік світла доти, доки світло не висвітлить обидва фотосенсори і не ввімкнеться другий мотор. Коли обидва сенсори освітлені, робот рухається назустріч джерелу світла. Якщо один із сенсорів перестає освітлюватися, то робот знову повертає у бік джерела світла і, досягнувши положення, при якому світло падає на обидва сенсори, продовжує свій рух на світло. Якщо світло перестає падати на фотосенсори, робот зупиняється.

Схема робота симетрична і складається з двох частин, кожна з яких керує електромотором. По суті вона є як би подвоєною схемою попереднього робота. Фотосенсори слід розташовувати хрест-навхрест стосовно електромоторів так, як показано на рисунку робота вище. Також можна розмістити мотори хрест-навхрест щодо фотосенсорів так, як показано на схемі наведеній на рис. 3.11.

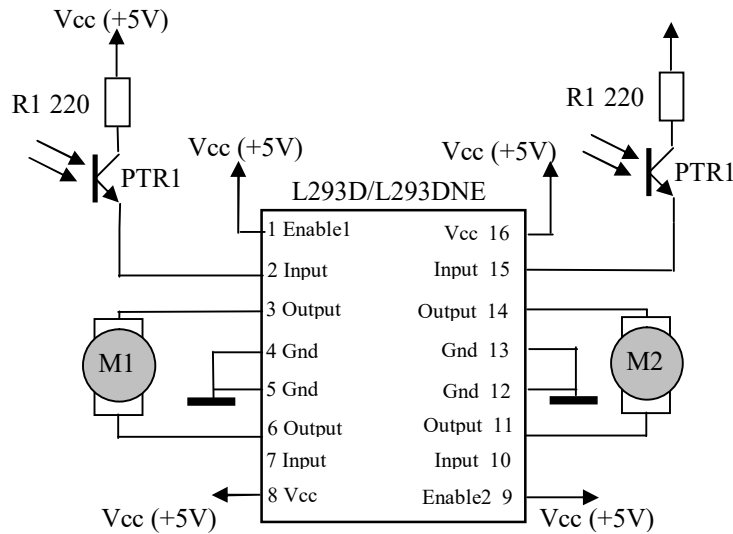


Рисунок 3.11 – Принципова схема робота із двома фототранзисторами

Зробити поведінку робота живішим можна, подавши на входи INPUT2 і INPUT3 позитивний сигнал (підключити їх до плюсу джерела живлення): робот рухатиметься за відсутності світла, що падає на фотосенсори, а "побачивши" світло, буде повертати в бік його джерела. Коли світло падатиме на обидва сенсори, робот зупиниться.

Щоб зробити робота, що "бігає" за рукою, будемо використовувати два світлодіоди (на схемі LED1 та LED2), як показано на рис. 3.12. Підключимо їх через резистори R1 і R4, щоб компенсувати струм, що протікає через них, і захистити від виходу з ладу. Розташуємо світлодіоди поряд з фотосенсорами, направивши їх світло в ту ж сторону, в яку орієнтовані фотосенсори, і приберемо сигнал із входів INPUT2 та INPUT3.

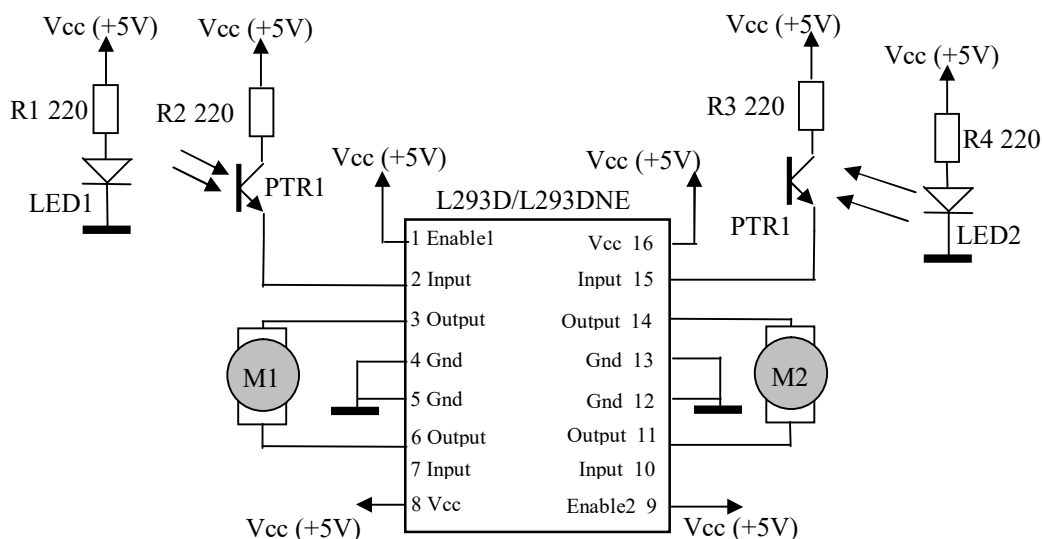


Рисунок 3.12 – Принципова схема робота із двома фототранзисторами

Завдання розробленого ВЕАМ робота - реагувати на відбите світло, яке випромінюють світлодіоди. Включимо робота і поставимо долоню перед одним із фотосенсорів. Робот поверне убік долоні. Перемістимо долоню трохи убік так, щоб вона зникла з поля "зору" одного з фотосенсорів, у відповідь робот слухняно, як песик, поверне за долонею.

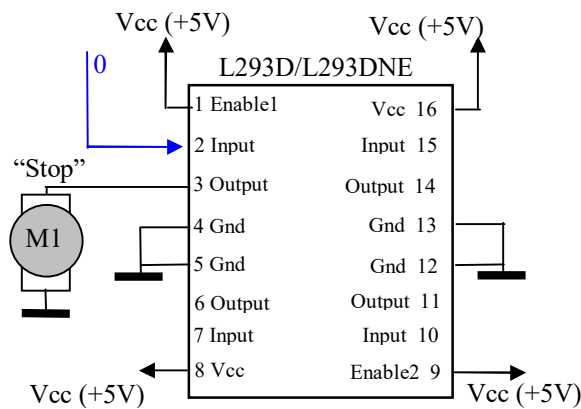
Світлодіоди слід підбирати досить яскраві, щоб відбите світло стійко вловлювалося фототранзисторами. Хороших результатів можна досягти при використанні червоних або помаранчевих світлодіодів з яскравістю понад 1000 мкд.

Якщо робот реагує на вашу руку тільки тоді, коли вона майже стосується фотосенсора, то можна спробувати поекспериментувати з листочком білого паперу: здатність білого листа, що відображає, набагато вища, ніж у людської руки, і реакція робота на білий листок буде набагато кращою і стійкішою.

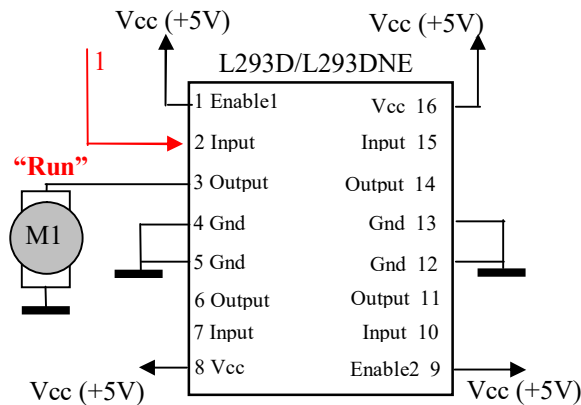
Білий колір має найвищі властивості, що відображають, чорний - найменшими. На основі цього можна зробити робота, що переміщується вздовж лінії. Сенсори при цьому слід розташувати так, щоб вони були спрямовані вниз. Відстань між сенсорами має бути трохи більшою, ніж ширина лінії.

3.3 Схеми підключення електродвигунів до L293D

Спробуємо підключити електродвигун одним висновком до OUTPUT1, а іншим висновком до "землі" (мінусу живлення). Якщо ми подамо на INPUT1 сигнал низького рівня (0), підключивши його до мінусу живлення, струм через електродвигун не піде і двигун не буде обертатися (рис.3.13а). Якщо ми подамо на INPUT1 сигнал високого рівня (1), підключивши його до плюсу живлення, то мотор буде обертатися, як показано на рис. 3.13б.



а)

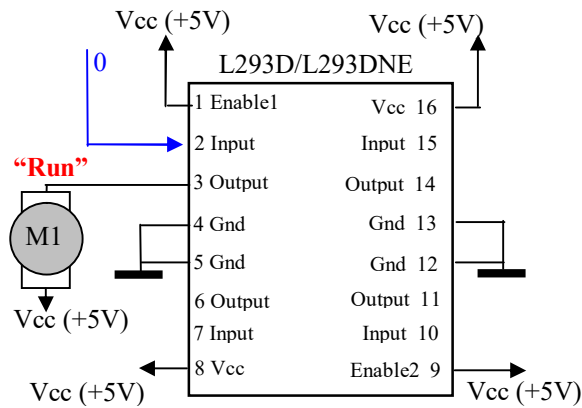


б)

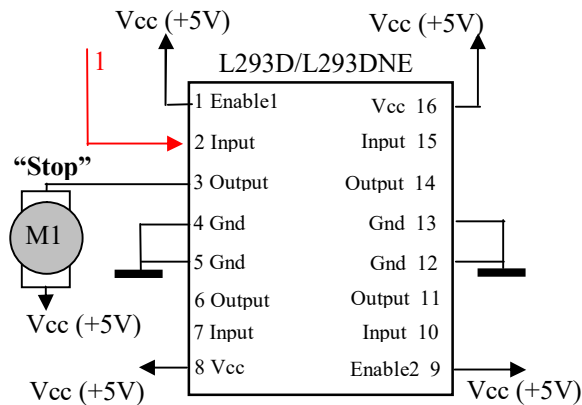
Рисунок 3.13 – Схеми підключення електродвигунів до L293D

Тепер підключимо двигун виведення OUTPUT1 і до позитивного полюса джерела живлення, як показано на рис. 3.14. Якщо ми подамо на INPUT1

сигнал низького рівня (0), підключивши його до мінусу живлення, двигун буде обертатися. Якщо ми подамо на INPUT1 сигнал високого рівня (1), підключивши його до плюсу живлення, то мотор обертатися не буде.



а)



б)

Рисунок 3.13 – Схеми підключення електромоторів до L293D через живлення

Розглянемо ще один варіант підключення як показано на рис. 3.14. Підключимо до L293D ще один двигун і приєднаємо висновки двигунів до різних полюсів джерела живлення: підключимо перший двигун до негативного полюса живлення, а другий – до позитивного. З'єднаємо входи INPUT1 та INPUT4 так, як це показано на наступній схемі, і подамо на них

сигнал низького рівня (0). Перший мотор обертається не буде, а другий обертатиметься.

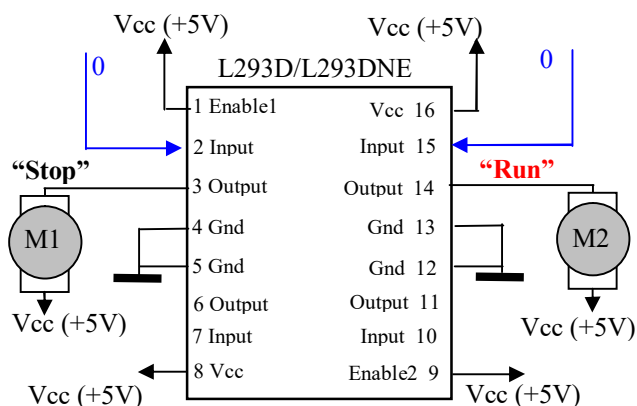


Рисунок 3.14 – Схеми підключення 2 електромоторів до L293D подача «0»

Подавши на входи сигнал високого рівня (1), ми отримаємо прямо протилежну картину: перший мотор обертатиметься, а другий не обертатиметься (рис.3.15)

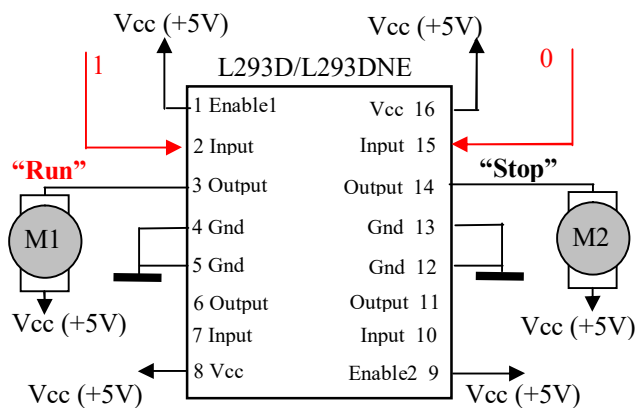


Рисунок 3.15 – Схеми підключення 2 електромоторів до L293D подача «1»

Таким чином, ми отримали схему, в якій мотори поведуться протилежним чином в залежності від сигналу, що подається на вхід. Ця схема буде основою для наших подальших експериментів.

3.4 Схема підсилювача сигналу від датчика на базі L293D

L293D має чотири канали управління, по суті є підсилювачами сигналу, які можуть бути зображені у вигляді трикутників. Трикутниками на схемах зазвичай позначаються підсилювачі. Кожен такий канал посилення має вхід INPUT і вихід OUTPUT. Зображення каналів L293D у вигляді трикутників дозволить уявити схему простішою і зрозумілішою, як представлено на рис. 3.16. Підключимо до входу фототранзистор, підтягнутий до "землі" резистором. Резистор необхідний для того, щоб при відсутності високого рівня струму від фототранзистора на вході схеми був присутній невеликий сигнал низького рівня.

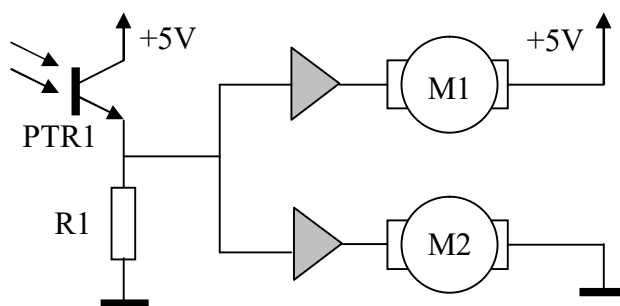


Рисунок 3.16 – Зображення каналів на мікросхемі L293D

При реалізації такої схеми ми легко переконаємося, що струму, що надходить від фототранзистора, буде явно недостатньо, щоб розкачати відразу два канали посилення L293D. Спробуємо посилити сигнал від датчика за допомогою ще одного каналу посилення, як показано на наступній схемі (рис. 3.17).

Схема ВЕАМ робота (рис.3.17), що вийшла, буде працювати вже набагато краще. Посилений сигнал від фототранзистора, що надходить на наступні канали посилення, дозволить стабільно працювати навіть моторчикам з досить високим струмом споживання. Але у мікросхемі

драйвера моторів залишається ще один невикористаний канал посилення, який ми також можемо пустити у справу.

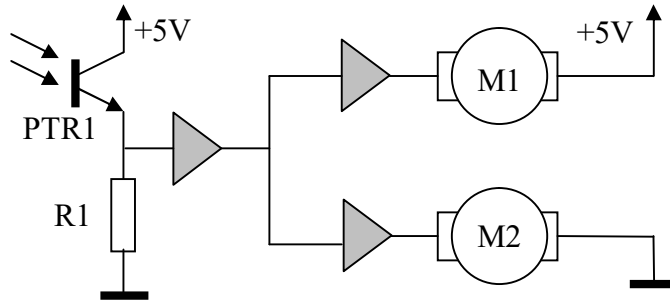


Рисунок 3.17 – Підключення з підсилювачем на одному каналі.

Підключимо його в паралель із каналом, що посилює струм від фототранзистора, як показано на рис. 3.18. Таке рішення дозволить повністю реалізувати потенціал схеми та отримати високу віддачу на електромоторах..

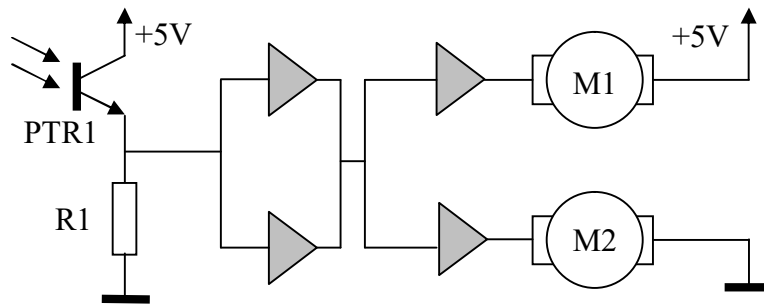


Рисунок 3.18 – Паралельне підключення.

3.5 Схема BEAM робота на базі ATmega8

Як драйвер двигунів використовуємо мікросхему L293D, входи якої приєднаємо до висновків мікроконтролера так, як показано на схемі. У цьому прикладі буде розглянуто мікроконтролер ATmega8, хоча можна використовувати й інший мікроконтролер (наприклад, ATtiny26 або будь-який мікроконтролер із сімейства Mega) [136]. На схемі який представлений

на рис. 3.19. BEAM роботи драйвера двигунів L293D підключені до висновків порту C мікроконтролера ATmega8, але їх можна підключити до будь-якого з портів мікроконтролера (при цьому буде необхідно внести зміни до програмної частини, вказавши порт і безпосередньо його висновки у відповідних рядках програми, що наводиться нижче).

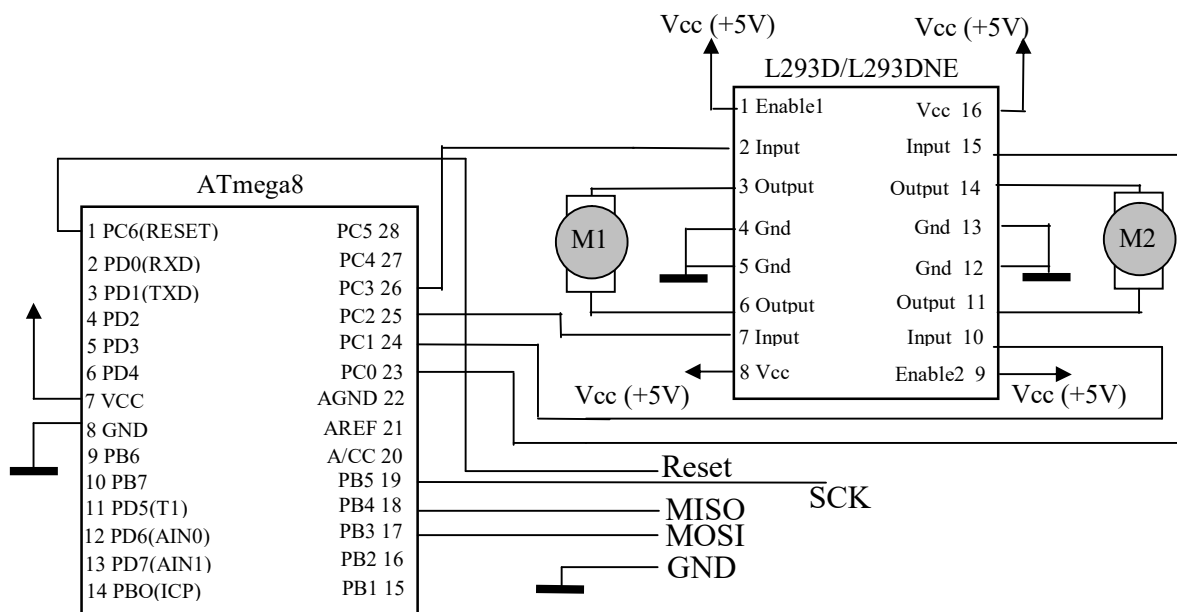


Рисунок 3.19 – Схема BEAM роботи на базі ATmega8.

У наведеній схемі рекомендується використовувати електродвигуни зі струмом споживання до 150 мА та напругою живлення 3-5 В. При використанні потужніших моторів рекомендується застосувати роздільне живлення електронної схеми та електродвигунів, а також передбачити заходи щодо стабілізації роботи мікроконтролера. Також рекомендуємо використовувати для фільтрації вхідної напруги електролітичний конденсатор С3 (1000 мкф, 10-25 ст) необхідний для того, щоб згладити стрибки по живленню, викликані роботою моторів. Цей конденсатор дуже важливий. Саме він дає змогу працювати схемою з необхідним рівнем стабільності. Замість одного конденсатора можна використати два. Номінал кожного їх у разі може бути близько 470 мкф. При цьому один з конденсаторів встановлюють в безпосередній близькості від живлення

мікроконтролера, а другий - поряд з виведенням V_s мікросхеми драйвера моторів L293D. Забезпечення стабілізації живлення – один із найважливіших аспектів проектування пристроїв на мікроконтролерах.

Для того, щоб ще більше стабілізувати роботу мікроконтролера, хорошим рішенням може служити керамічний конденсатор ємністю близько 0,1 мкф, приєднаний між виведенням живлення VCC, GND (ніжки 7 і 8) і розташований в безпосередній близькості від них (на схемі не вказано).

3.6 Схема BEAM робота, що долає перешкоди без використання датчиків

Як продовження експериментів, описаних у підрозділі 3.5, спробуємо зробити BEAM робота, що об'їжджає перешкоди. Особливістю робота буде те, що у нього не буде датчиків у традиційному сенсі, а визначати перешкоди робот буде за допомогою вимірювання значень напруги на електромоторах.

Коли робот упирається в перешкоду, його колеса зустрічають опір і починають гальмуватися. Мотори при цьому намагаються обертати колеса та зазнають збільшення навантаження. Навантаження спричиняє збільшення споживання струму електромоторами. В електричному ланцюзі робота відбувається просадка напруги, пов'язана зі збільшенням споживання струму електромоторами..

Зустрівши на своєму шляху перешкоду, робот "відчуватиме" збільшення навантаження на мотори. Алгоритм його руху в цьому випадку буде досить простим: робот буде від'їжджати трохи назад, повертатися і знову рухатися вперед, намагаючись таким чином об'їхати перешкоду, що зустрілася.

Для того, щоб виміряти напругу на моторах, нам буде необхідно використовувати аналого-цифровий перетворювач (АЦП, англ. Analog-to-digital converter, ADC), який здійснює перетворення вхідного сигналу в

чисельну виставу. АЦП в Atmega8 десятибітний, тобто значення вимірної напруги лежатиме в межах від 0 до 1023 у чисельному вираженні.

Для роботи АЦП потрібне джерело опорної напруги, щодо якого АЦП здійснює вимірювання. Напруга, яка перетворюється на АЦП, повинна бути меншою за опорну. Опорну напругу можна подати на спеціальну ніжку мікроконтролера AREF. Можна також використовувати внутрішні джерело опорної напруги на 2,56 вольта або використовувати напругу живлення. Крім того, Atmega8 має окремі висновки для живлення АЦП: AVCC (аналогове живлення) і AGND (аналогова "земля"). Підключимо AVCC та AREF до позитивного полюса джерела живлення, а AGND до загальної "землі". Слід зазначити, що на точність роботи АЦП можуть впливати наведення та перешкоди. Схема ВЕАМ робота, що об'їжджає перешкоди представлена на рис. 3.20

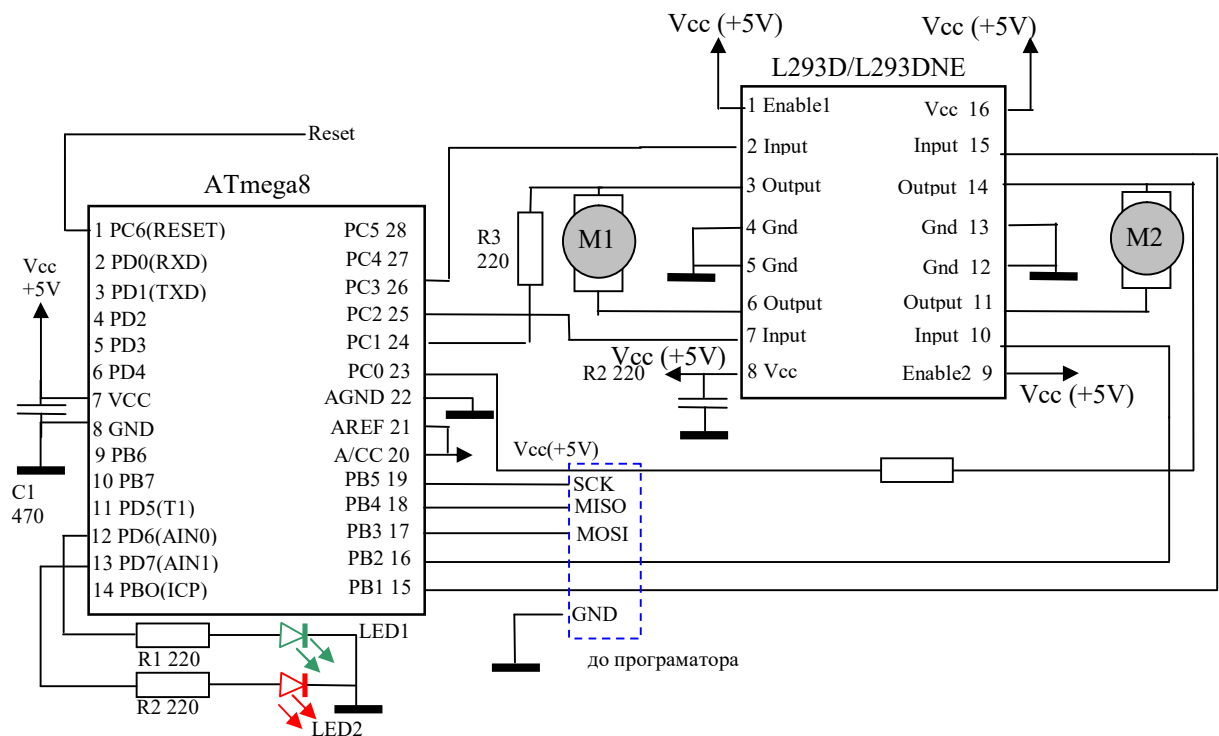


Рисунок 3.20 – Схема ВЕАМ робота, що об'їжджає перешкоди (без датчиків)

Виведення PC0 (канал АЦП ADC0) та PC1 (канал АЦП ADC1) будемо використовувати для вимірювання напруги. Підключимо їх через обмежувальні резистори з номіналом 150-220 Ом до виведень електромоторів, які забезпечують рух вперед при подачі на них позитивної напруги. Для уникнення занадто великих просадок напруги, що призводять до випадкового перезавантаження мікроконтролера, підключимо до висновків живлення мікросхем електролітичні конденсатори з номіналом близько 470 мкф.

Для індикації використовуємо два світлодіоди, які підключимо через обмежувальні резистори, наприклад до виведень PD6 і PD7. Виведення PC2 і PC3 використовуємо керувати мотором M1, а виведення PB1 і PB2 керувати мотором M2.

Вибір виведень для управління моторами продиктований в даному прикладі переважно тим, що вони знаходяться на одній стороні мікроконтролера і їх підключення до мікросхеми драйвера моторів L293D досить зручно намалювати на схемі. У своїй конструкції ви можете використовувати інший набір виведень як для світлодіодів, так і електромоторів. Виведення PC4 і PC5 залишені незадіяними для того, щоб при вдосконаленні конструкції надалі у нас були в запасі як мінімум два вільні канали АЦП (ADC4 і ADC5). Загалом програма для робота буде виглядати наступним чином. Включаємо двигуни для руху вперед. Трохи чекаємо, поки вщухне стрибок напруги, спричинений стартом моторів. Поки робот ще не зіткнувся з жодною перешкодою, робимо серію опитувань АЦП, щоб знайти мінімальне та максимальне значення напруги. У кожній серії ми визначатимемо напруги на моторах M1 і M2 багаторазово, щоб знайти їх середні значення. Пошук середніх значень необхідний, щоб нівелювати перешкоди.

Обчисливши мінімальне і максимальне значення напруги кожному моторі, ми можемо визначити значення порога (threshold) для напруги, у якому вважатимемо, що навантаження на мотори зросло і перед роботом,

швидше за все, виникла перешкода. Цей поріг має бути трохи більшим, ніж середньомінімальне значення напруги. Обчислимо його за такою формулою:

$$\text{threshold} = \text{min} + (\text{max} - \text{min}) / 20$$

Слід зазначити, що величина, на яку ділиться дельта між max і min, може бути не 20, а, наприклад, 10 або 15. Ця величина залежить від конкретних моторів, які будуть використовуватися в конструкції робота, і підбирається дослідів шляхом. Саме від цієї величини залежатиме чутливість робота до перешкод. Фото зібраного макету робота на базі представленої схеми (рис. 3.20), представлений на рис. 3.21.

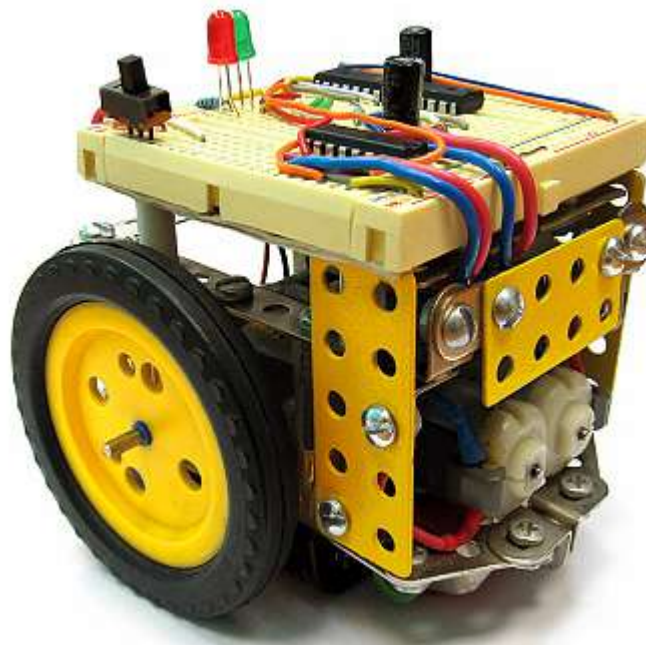


Рисунок 3.21 – Прототип ВЕАМ робота, що об'їжджає перешкоди
(без датчиків)

Технологія виявлення перешкод, описана в цьому підрозділі, не покликана замінити стандартні датчики, але може використовуватись паралельно з ними. Це буде корисним доповненням до відчуттів робота, особливо в ті моменти, коли перешкода потрапляє в сліпу зону основних датчиків.

3.7 Схема BEAM робота, що обіжає перешкоди при контакті з ними

Схема BEAM-робота, який може об'їжджати перешкоди при контакті з ним "вусиками" на базі мікросхеми L293D, може бути реалізована таким чином:

- Рухова платформа: Почнемо з базової механічної платформи робота, включаючи два колеса та два мотори. Мікросхема L293D буде використовуватися для керування цими двигунами. Кожне колесо має бути незалежно керованим, щоб робот міг рухатися вперед, назад та обертатися;

- Датчики "вусиків": Робот повинен бути оснащений датчиками "вусиків", які будуть використовуватися для виявлення перешкод. Ці датчики можуть бути виконані у вигляді дротів або паличок, які виступають уперед від робота. Коли "усик" стикається з перешкодою, він дає сигнал про контакт;

- мікросхема L293D: Ця мікросхема буде використовуватися для керування двигунами. Вона може керувати двома моторами у двох напрямках (вперед та назад). Ви можете підключити два двигуни до мікросхеми, один на кожен висновок для двигуна. Схема BEAM робота перешкоди, що обіжає, при контакті з ним представлена на рис. 3.22

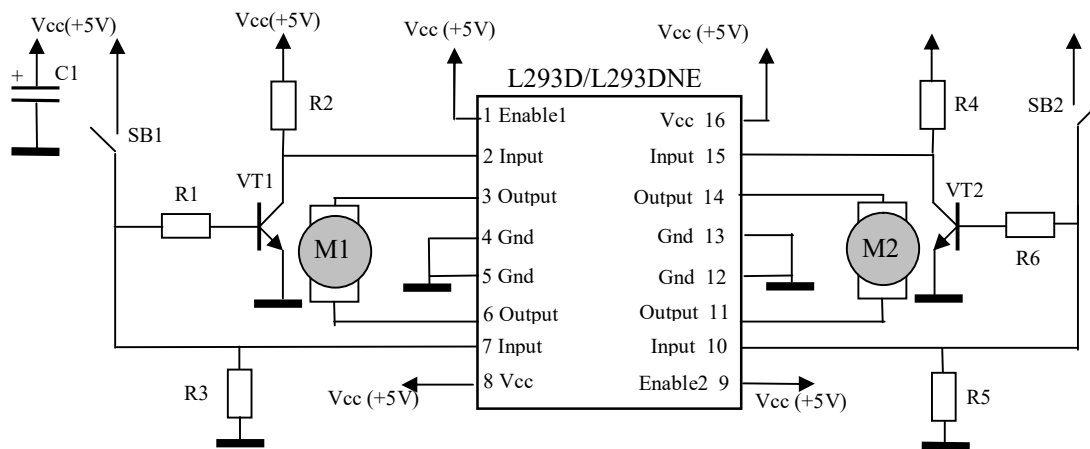


Рисунок 3.22 – Схема BEAM робота перешкоди, що обіжає, при контакті з ним (без датчиків)

Після подачі живлення двигуни будуть обертатися в певний бік, рухаючи робота вперед. Це відбувається за рахунок того, що на INPUT1 через резистор R2 надходить сигнал високого рівня, як і на вході INPUT4. Транзистор VT1 надійно закритий, база стягнута на мінус живлення, на колектор струм не входить. На вході INPUT2 через резистор R3 встановлюється логічний 0. Двигун обертається у певну сторону. У правій частині схеми відбувається те саме і робот їде вперед.

У схемі є ключі (SB1, SB2), як застосовані SPDT перемикачі. На них за допомогою термклею прикріплюються скріпки та виходять датчики перешкод.

Коли такий датчик упирається у перешкоду, ключ замикається і вхід INPUT2 виявляється підключеним до плюсу живлення, тобто. подається логічна "1". У цей момент часу відкривається і транзистор, внаслідок чого логічна одиниця на вході INPUT1 змінюється логічним нулем. Двигун при натиснутій кнопці обертається в інший бік. Ривками відбуваються мікроперемикання і двигун розгортає робота від перешкоди, до того моменту, поки датчик перестане стикатися з перешкодою. Список радіодеталей представлений у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Перелік радіодеталей схеми ВЕАМ робота

Позначення	Тип	Номінал	Кількість	Аналоги
VT1,VT2	Біполярний транзистор	2N3904	2	-
R1,R2,R4,R6	Резистор	10кОм	4	-
R3,R5	Резистор	4.7кОм	2	-
C1	Електролітичний конденсатор	100мФ	1	-

Макет зібраного ВЕАМ робота за схемою (рис. 3.22), представлений на рис. 3.23.

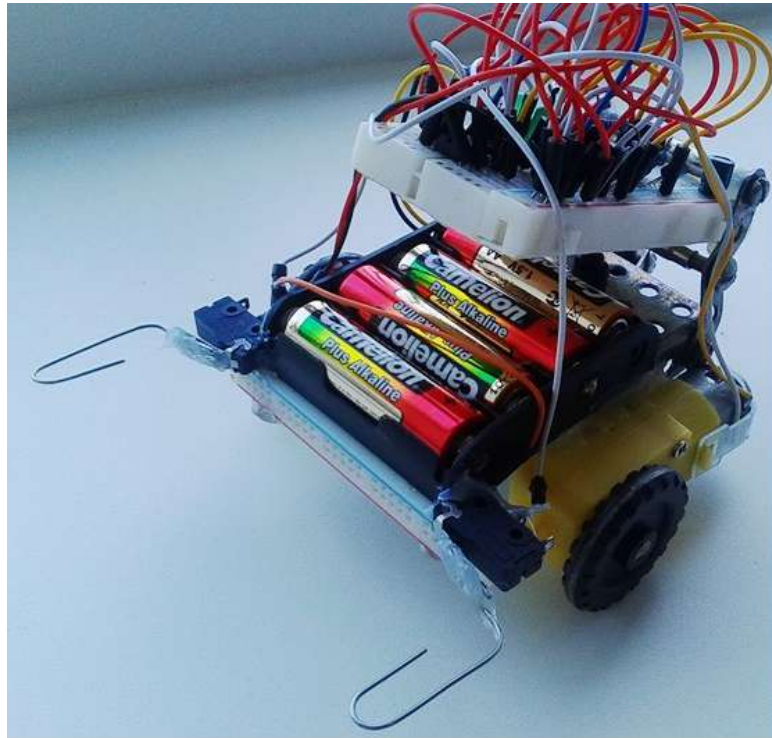


Рисунок 3.23 – Макет зібраного BEAM робота, що обіжає перешкоди при контакті з ним

3.8 Схема BEAM робота, що обходить перешкоди з використанням датчика TSOP1136

Грунтуючись на вище наведеній схемі BEAM робота, що обіжає перешкоди при контакті з ним (без датчиків) (рис.3.22), проведемо модернізацію і додамо інфрачервоний датчик серій TSOP1136.

Датчик TSOP1136 - це інфрачервоний приймач, розроблений для виявлення та демодуляції інфрачервоних сигналів, що надсилаються інфрачервоним передавачем, наприклад, у пульт керування телевізором або іншими пристроями [137]. Він часто використовується у програмах, пов'язаних з бездротовим керуванням, дистанційними керованими пристроями та системами дистанційного керування.

Принцип роботи датчика TSOP1136 ґрунтується на принципі демодуляції інфрачервоного сигналу. Ось основні етапи його роботи:

- прийом інфрачервоного сигналу: Датчик TSOP1136 має інфрачервоний фотодіод, який спеціально налаштований на прийом інфрачервоних променів з певною частотою. Ця частота відповідає частоті модуляції інфрачервоного сигналу, що відправляється від пульта або іншого джерела. Фотодіод перетворює інфрачервоне випромінювання на електричний сигнал змінного струму;

- фільтрація сигналу: Отриманий сигнал з фотодіода проходить через вбудований фільтр. Фільтр дозволяє пропускати лише сигнали з певною частотою, що відповідає частоті модуляції інфрачервоного сигналу. Це дозволяє датчику фільтрувати зовнішні шуми та інші джерела світла, що не належать до інфрачервоного керування;

- демодуляція сигналу: Після фільтрації сигнал проходить через демодулятор, який перетворює змінний сигнал на вихідний сигнал постійного струму. Цей вихідний сигнал відповідає сигналу керування, що надсилається з пульта. Тобто коли сигнал з пульта включає інфрачервоний світлодіод, TSOP1136 виявляє це і генерує відповідний сигнал;

- вихідний сигнал: Вихідний сигнал датчика TSOP1136 змінюється залежно стану прийому інфрачервоного сигналу. Коли датчик виявляє інфрачервоний сигнал, вихід стає низьким (LOW), а коли сигнал відсутній, вихід стає високим (HIGH);

- фільтрація перешкод: Датчик також має систему фільтрації перешкод, яка допомагає фільтрувати короткі періоди раптових сплесків інфрачервоного випромінювання, які можуть виникнути від світлових джерел або інших перешкод.

Схема BEAM робота, що об'їжджає перешкоди за допомогою датчика TSOP1136 представлений на рис. 3.24.

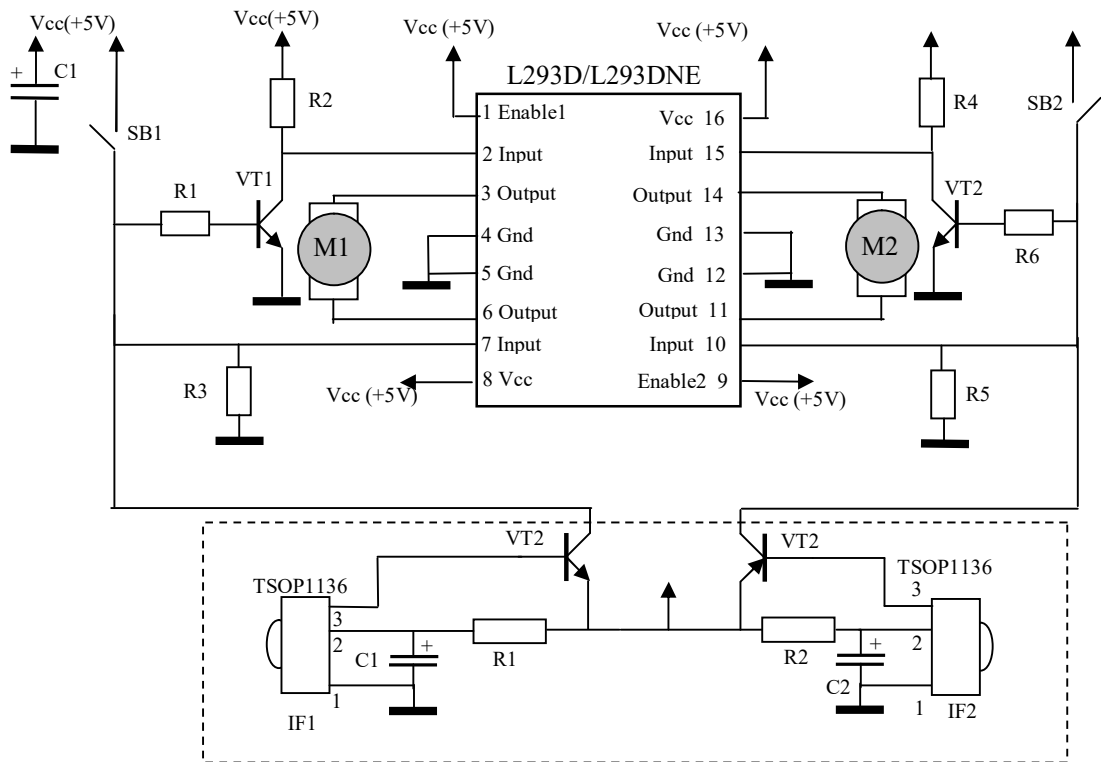


Рисунок 3.24 – Схема BEAM робота, що обїгає перешкоди за допомогою датчика TSOP1136

Датчик TSOP1136 працює так: при надходженні інфрачервоного сигналу на TSOP-приймач на його виході з'являється негативна напруга, яка відмикає PNP транзистор, і струм з плюсу живлення надходить на вхідний ланцюг мікросхеми. Якщо минулого разу були використані механічні перемикачі з так званими вусиками із скріпок, то нова схема дозволить роботу не врїзатися в перешкоду, а реагувати на неї з певної дистанції. Список радіодеталей представлений у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Перелік радіодеталей схеми BEAM робота

Позначення	Тип	Номінал	Кількість	Аналоги
1	2	3	4	5
VT1,VT2	Біполярний транзистор	2N3904	2	КТ361, КТ816

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
R1,R2	Резистор	100OM	4	-
C1,C2	Електролітичний конденсатор	10-47мкФ	1	-
FD1, FD2	ІЧ будь-який			

Макет зібраного ВЕАМ робота за схемою (рис. 3.24), представлений на рис. 3.25.

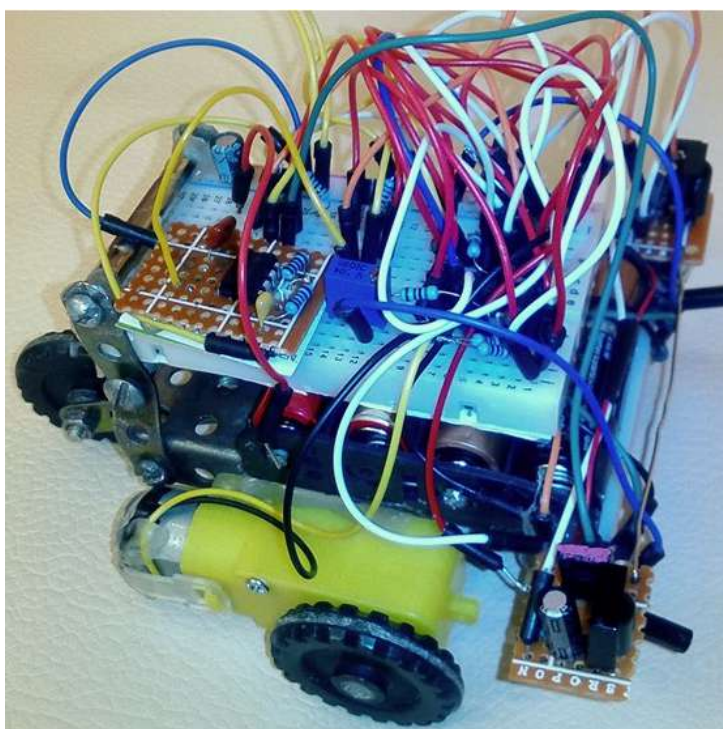


Рисунок 3.25 – Макет ВЕАМ робота перешкоди, що обіжає, за допомогою датчика TSOP1136

3.9 Питання до III розділу

1. Які типи сенсорів зазвичай використовуються для створення найпростішої сенсорної системи в ВЕАМ роботах?
2. Як можна реалізувати зв'язок між сенсорами і системою керування ВЕАМ робота для збору та аналізу інформації?

3. Які конкретні завдання та функції можна доручити цій найпростішій сенсорній системі в BEAM роботі?
4. Як використання сенсорів сприяє підвищенню здатності BEAM робота реагувати на зміни в навколишньому середовищі?
5. Які виклики та обмеження пов'язані з реалізацією найпростішої сенсорної системи для BEAM робота і як їх можна подолати?
6. Як працює схема руху по лінії на базі логічної мікросхеми L293D в BEAM робототехніці?
7. Які датчики або сенсори можуть бути використані для визначення лінії, вздовж якої має перемуватися BEAM робот?
8. Які переваги надає використання логічної мікросхеми L293D для керування рухом в порівнянні з іншими методами?
9. Яким чином схема руху по лінії на базі L293D може бути оптимізована для досягнення точного і стабільного слідування за лінією?
10. Які можливі виклики або проблеми можуть виникнути при використанні цієї схеми у BEAM робототехніці і як їх можна вирішити?
11. Які типи електромоторів можуть бути підключені до L293D, і які основні характеристики електромоторів слід враховувати при підключенні?
12. Які схеми підключення електромоторів до L293D можуть бути використані для керування рухом BEAM роботів і які переваги мають ці схеми?
13. Які особливості керування напругою та напрямком обертання електромоторів за допомогою L293D і які параметри налаштування важливі для досягнення бажаних результатів?
14. Як впливає режим роботи L293D (однонаправлений або двонаправлений) на рух BEAM робота і як вибрати відповідний режим?
15. Які можливі проблеми або помилки можуть виникнути при підключенні електромоторів до L293D, і як їх можна вирішити?
16. Які функції виконує схема підсилювача сигналу від датчика на базі L293D у системі управління BEAM роботом?

17. Які основні компоненти схеми підсилювача використовуються для підвищення амплітуди сигналу від датчика, і як вони співпрацюють?
18. Які фактори впливають на вибір коефіцієнта підсилення для схеми підсилювача, і як визначити оптимальне значення коефіцієнта підсилення?
19. Як можна запобігти перевищенню амплітуди сигналу в схемі підсилювача і які заходи безпеки слід вживати при роботі з підсилювачем?
20. Які можливі проблеми або виклики можуть виникнути при налаштуванні та використанні схеми підсилювача сигналу від датчика, і як їх можна вирішити?
21. Які переваги має використання мікроконтролера ATmega8 для створення BEAM робота в порівнянні з іншими мікроконтролерами?
22. Які функції виконує схема BEAM робота на базі ATmega8 у системі управління та контролю руху?
23. Які інтерфейси та порти мікроконтролера ATmega8 використовуються для взаємодії з датчиками та актуаторами BEAM робота?
24. Які можливості програмування надає мікроконтролер ATmega8 для створення поведінки BEAM робота, і як це впливає на його функціональність?
25. Які виклики можуть виникнути під час розробки та програмування схеми BEAM робота на базі ATmega8, і як їх можна вирішити?
26. Яким чином можна реалізувати схему BEAM робота, яка може обходити перешкоди без використання датчиків?
27. Які принципи роботи логічних елементів та мікроконтролера використовуються в цій схемі для визначення та управління рухом робота?
28. Які можливі обмеження та виклики можуть виникнути при роботі BEAM робота без використання датчиків у режимі обходу перешкод?
29. Яким чином програмне забезпечення та апаратне забезпечення робота співпрацюють у цій схемі для досягнення оптимальної продуктивності?
30. Як можна вдосконалити схему BEAM робота, що обходить перешкоди без використання датчиків, для підвищення ефективності та надійності?

31. Яким чином можна реалізувати схему ВЕАМ робота, яка може обходити перешкоди без використання датчиків?

32. Які принципи роботи логічних елементів та мікроконтролера використовуються в цій схемі для визначення та управління рухом робота?

33. Які можливі обмеження та виклики можуть виникнути при роботі ВЕАМ робота без використання датчиків у режимі обходу перешкод?

34. Яким чином програмне забезпечення та апаратне забезпечення робота співпрацюють у цій схемі для досягнення оптимальної продуктивності?

35. Як можна вдосконалити схему ВЕАМ робота, що обходить перешкоди без використання датчиків, для підвищення ефективності та надійності?

4. РОЗРОБКА BEAM РОБОТІВ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ СІМЕЙСТВА ATMEGA

4.1 Переваги застосування плат на основі мікроконтролера сімейства ATMEGA при розробці мобільних роботів.

Використання плат на основі мікроконтролера сімейства ATmega в розробці мобільних роботів має численні переваги:

- низька вартість: Мікроконтролери ATmega від фірми Microchip є досить доступними з точки зору ціни, що робить їх відмінним вибором для студентів, гобістів і малих стартапів з обмеженим бюджетом;

- надійність і стабільність: Мікроконтролери ATmega відомі своєю надійністю і стабільністю роботи, що робить їх придатними для застосувань, де потрібна низька ймовірність виникнення помилок;

- простота програмування: ATmega мають добре розвинену екосистему програмування. Ви можете використовувати різні інтегровані середовища розробки, такі як Arduino IDE або PlatformIO, щоб легко програмувати ці мікроконтролери з використанням C/C++;

- низьке споживання енергії: Деякі мікроконтролери ATmega мають режими низького споживання енергії, що робить їх ідеальними для застосувань, де важлива продуктивність з точки зору енергозбереження;

- підтримка багатьох ввідів-виводів (GPIO): Мікроконтролери ATmega мають багато цифрових і аналогових портів введення-виведення, що дозволяє підключати до них різні сенсори, актуатори і комунікаційні модулі;

- широкий вибір моделей і варіантів: Сімейство ATmega включає в себе різні моделі з різними характеристиками, такими як кількість введення-виведення, швидкість роботи, обсяг пам'яті, що дозволяє вибрати той, який найкраще відповідає конкретним потребам проекту;

- легка інтеграція: Мікроконтролери ATmega можна легко інтегрувати з іншими компонентами системи, такими як сенсори, механічні частини та інші мікроконтролери;

- можливість розширення і розробки спеціалізованих рішень: Ви можете створювати спеціалізовані рішення на основі мікроконтролерів ATmega, додавати власні функції та розширювати їх можливості.

Загалом, мікроконтролери ATmega є популярними серед розробників мобільних роботів завдяки своїм перевагам у вартості, надійності та спрощеному програмуванню, що робить їх відмінним вибором для різних проектів у сфері робототехніки.

Arduino - це відкрита платформа для розробки електронних пристроїв і проектів, яка використовує мікроконтролери сімейства ATmega як основну обчислювальну платформу [138]. Основні риси Arduino на базі мікроконтролерів ATmega включають в себе:

- простота використання: Arduino створена з метою полегшити розробку електронних проектів для початківців і професіоналів. Вона має дружнє для користувача середовище розробки, яке дозволяє легко програмувати мікроконтролери Atmega;

- широкий вибір моделей: Arduino підтримує різні моделі мікроконтролерів ATmega, включаючи ATmega328, ATmega2560, ATmega32U4 і багато інших. Це дозволяє розробникам вибрати той, який найкраще відповідає їхнім потребам;

- розширюваність: Arduino працює з великою кількістю розширень та модулів, таких як сенсори, актуатори, дисплеї і комунікаційні інтерфейси, що робить її ідеальним вибором для будь-якого проекту;

- велика спільнота: Arduino має активну та велику спільноту користувачів і розробників, яка надає підтримку та навчальні ресурси для новачків і досвідчених розробників;

- відкритий код: Arduino базується на відкритому програмному забезпеченні, і її схеми та код доступні для вільного використання та модифікації. Це сприяє створенню спільноти розробників та надає можливість створювати власні рішення;

- підтримка мультиплатформенності: Arduino підтримує роботу на різних операційних системах, включаючи Windows, macOS і Linux;

- наявність готових бібліотек: Arduino надає багато готових бібліотек, які спрощують роботу з різними пристроями і модулями;

- різні варіанти платформи: Окрім класичних платформ Arduino Uno і Arduino Mega, існує безліч інших варіантів, таких як Arduino Nano, Arduino Mini, Arduino Due і багато інших, які відрізняються розмірами, характеристиками та функціональністю.

Arduino на базі мікроконтролерів ATmega використовується для створення різноманітних проєктів, включаючи мобільних роботів, смарт-пристрої, системи автоматизації та багато інших електронних пристроїв. У таблиці 4.1 представлено порівняння основних характеристик плат Arduino, які більш всего використовуються при розробки мобільних роботів.

Таблиця 4.1 – Порівняння основних характеристик плат Arduino

Характеристики	Плати Arduino				
	Uno [139]	Nano[140]	Mega[141]	Min[142]	Micro [143]
1	2	3	4	5	6
Мікроконтролер	Atmega328		Atmega2560	Atmega328	Atmega32u4
Робоча напруга [В]	5				
Цифрові входу\виходи	14	14	54	14	20
Виходи PWM	6	6	14	6	7
Аналогові входу\виходи	6	8	14	6	12

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Максимальний струм з піна вода виводу [mA]	40	40	40	40	40
Flash- пам'ять [Кб]	32	32	256	32	32
ОЗУ [Кб]	2	2	8	2	2.5
Тактова частота [МГц]	16	16	16	16	16
Габаритні розміри [мм]	69x53	75x53	102x53	30x18	48x18

Платформа **Arduino UNO** — найкраща друкована плата для навчання електроніці та програмування пристроїв. Якщо користувач повинен бути людиною, яка хоче перевірити можливості Arduino і не має конкретних ідей для проекту, він має звернутися до цієї моделі [139]. У той же час це найдокументованіша плата з використанням більшості рішень. Загальний вигляд Arduino UNO представлений на рис. 4.2



Рисунок 4.2 – Arduino UNO rev3 [139]

Arduino UNO заснована на мікроконтролері ATmega328P. Вона має 14 цифрових виводів, які можуть працювати як входи або виходи, та 6 з них можуть працювати як генератори сигналів ШІМ. Вона також має 6 аналогових входів, 16-мегагерцевий кварцовий резонатор, роз'єм USB та розетку, а також виведення ICSP та кнопку скидання.

Призначення пінів на Arduino UNO представлено на рис. 4.3

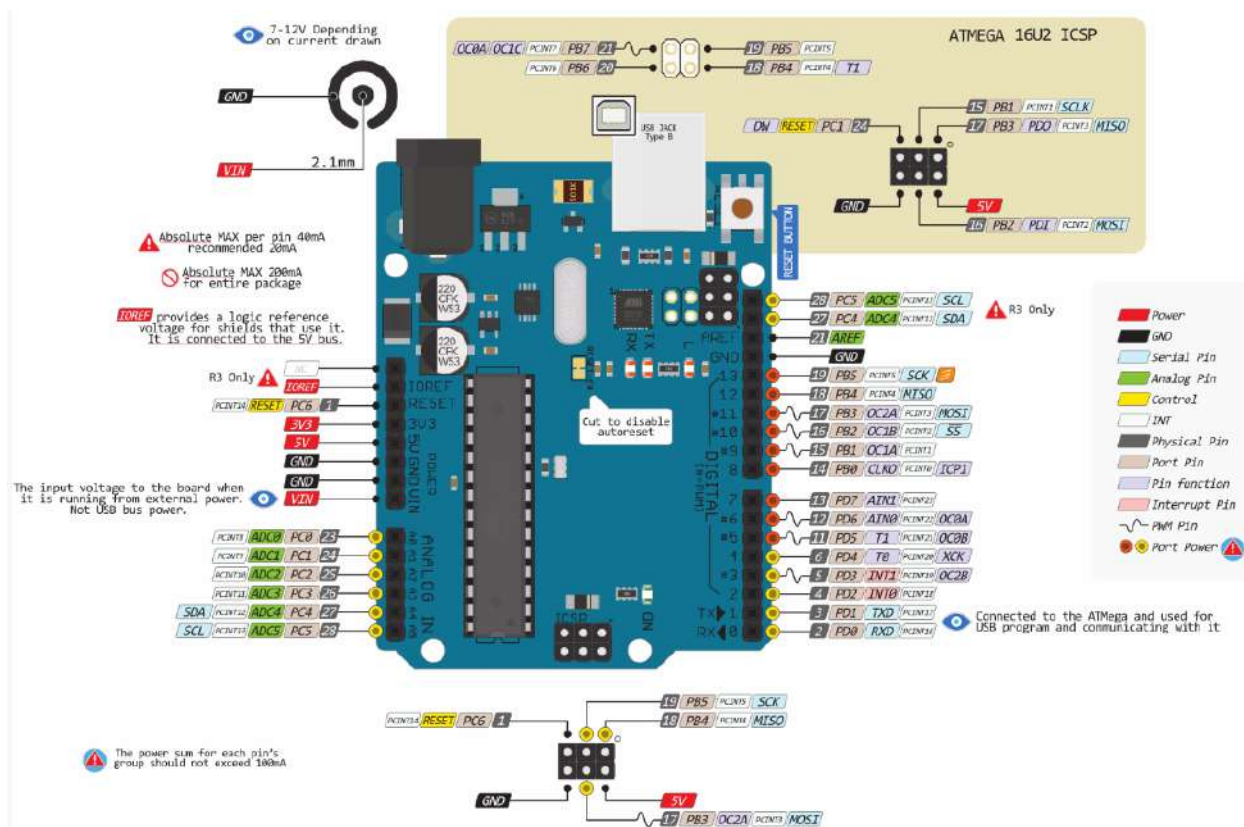


Рисунок 4.3 – Призначення пінів на Arduino UNO [139]

Вона містить все необхідне мікроконтролера. Просто підключіть плату до комп'ютера через USB-кабель або підключіть його до окремого джерела живлення або батареї. Роботу з Arduino UNO можна проводити без будь-яких турбот, тому що в гіршому випадку достатньо зняти процесор з бази, встановленої на платі, і замінити його на новий, а потім запустити знову.

Arduino NANO — це зовсім інша модель. З точки зору можливості, він нагадує модель UNO, тому що вона містить той же мікроконтролер, але в іншому меншому корпусі [140]. Чіп ATmega 328 спаяний, і вся плата має менший розмір та надзвичайно низьку масу. Окремого роз'єму живлення

немає, для цього також потрібний кабель USB Mini-B. Загальний вигляд Arduino NANO представлений на рис. 4.4

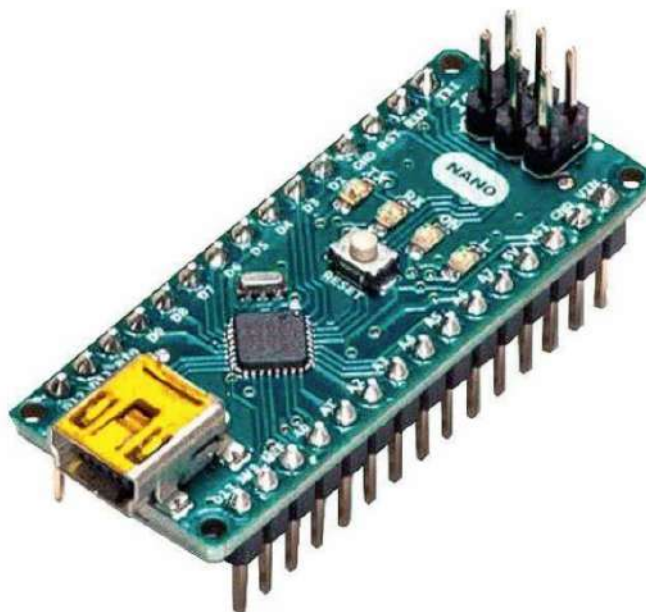


Рисунок 4.4 – Arduino NANO [140]

Численні пластинчасті виводи були встановлені таким чином, щоб модуль можна було зручно встановлювати на універсальних макетних платах. Тим не менш, завдяки меншим розмірам, її легше вбудовувати у вбудовані системи з дуже обмеженим доступним простором. Призначення пінів на Arduino NANO на рис. 4.5

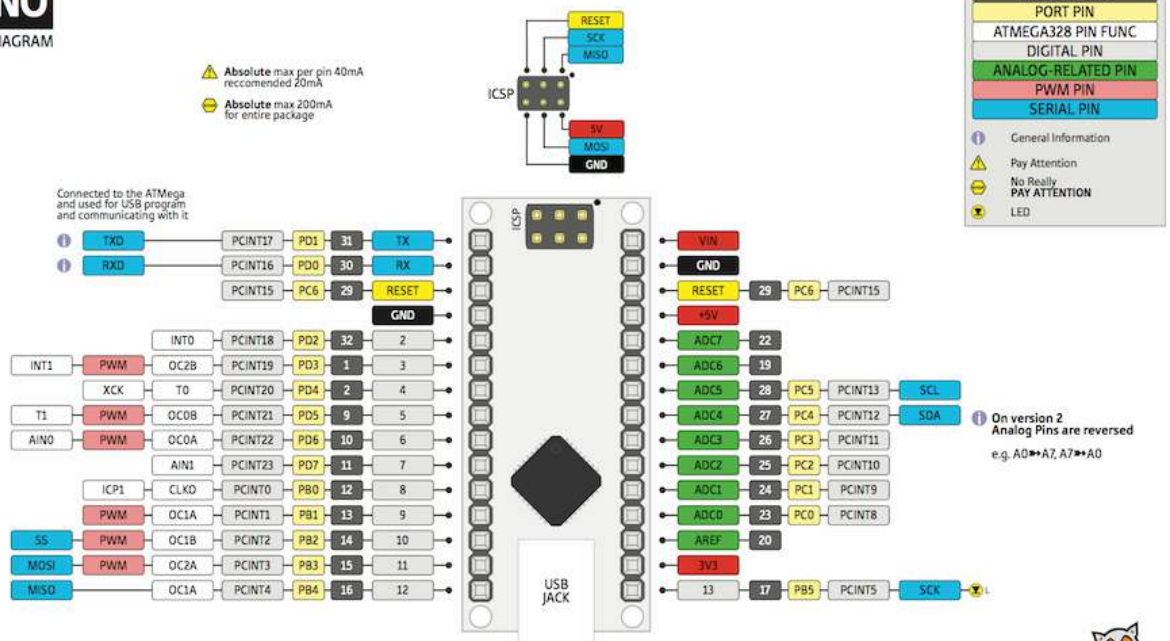


Рисунок 4.5 – Призначення пінів на Arduino NANO [140]

Arduino MEGA2560. заснований на мікроконтролері ATmega2560, який відрізняється набагато більшою пам'яттю. Вона має до 54 цифрових входів та виходів, з яких 15 можуть використовуватися як виходи ШІМ [141].

Вона має 16 аналогових входів, 4 інтерфейси UART, 16-мегагерцевий кварц, роз'єм USB та розетку живлення, а також виведення ICSP та кнопку скидання. Рекомендується для проектів 3D-принтерів та програм у робототехніці. Це дає справді великі можливості. Загальний вигляд Arduino NANO представлений на рис. 4.6.

Arduino Pro Mini 5V – невелика плата з процесором ATmega328p. За функціоналом ідентична Arduino Nano, лише відсутній USB порт. Використовується у вбудованій електроніці, робототехніці, системах розумного будинку [142]. Загальний вигляд Arduino Pro Mini представлений на рис. 4.8

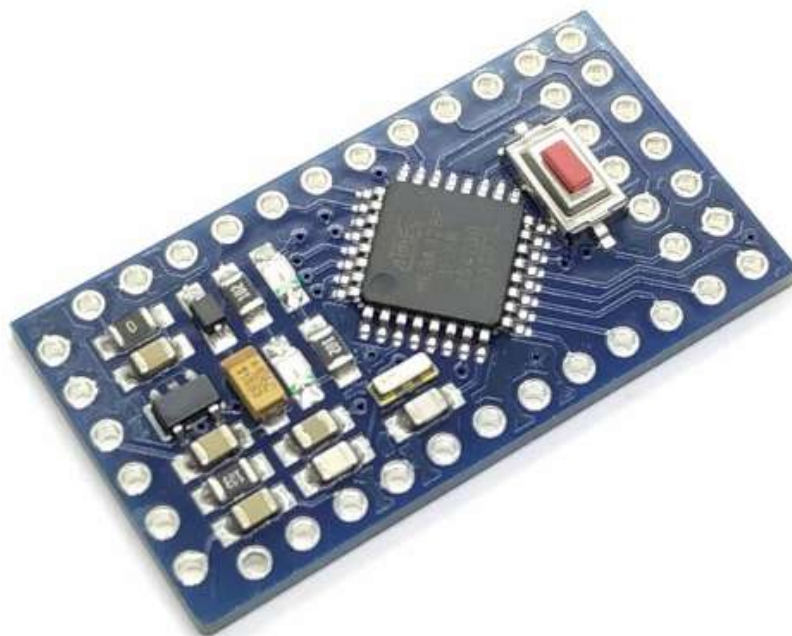


Рисунок 4.8 – Arduino Pro Mini [142]

Призначення пінів на Arduino Pro Mini представлено на рис. 4.9.

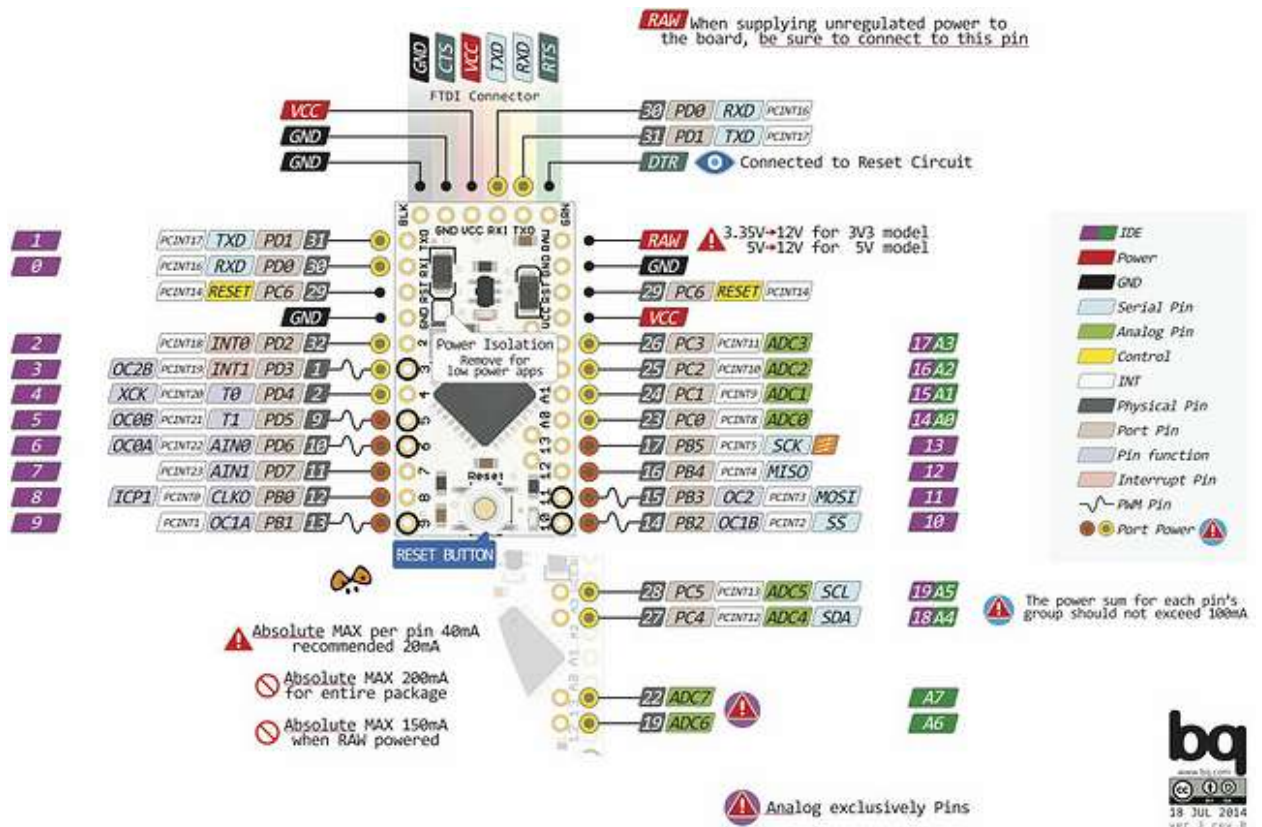


Рисунок 4.9 – Призначення пінів на Arduino Pro Mini [142]

Arduino MICRO заснована на мікроконтролері ATmega32u4 і, отже, на тій же моделі, що і Leonardo. Це означає, що, як і Leonardo, їй не потрібний додатковий USB-контролер, і він може повідомляти систему як мишу чи клавіатуру [143]. Вона була розроблена у співпраці з Adafruit. Загальний вигляд Arduino Pro Mini представлений на рис. 4.10

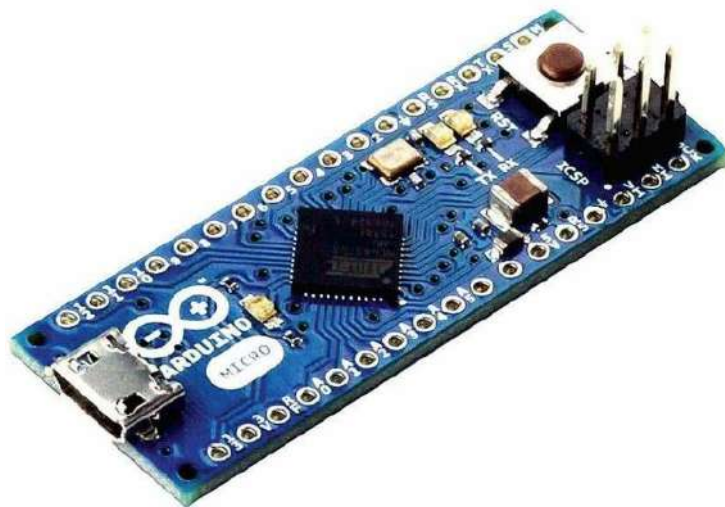


Рисунок 4.10 – Arduino MICRO [143]

За розмірами вона нагадує модель NANO. Він має 20 цифрових виходів/входів, з яких 7 можуть давати сигнали ШІМ, а 12 служать аналоговими входами. На платі також є 16-мегагерцевий кварц, роз'єм micro USB, виведення ICSP та кнопка скидання. Призначення пінів на Arduino MICRO на рис. 4.11.

Розглянемо загальні призначення пінів плат сімейства Arduino.

Analog-Related Pin - аналогові піни Arduino призначені для підключення аналогових пристроїв і є входами для вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП), який у Arduino Uno десятирозрядний

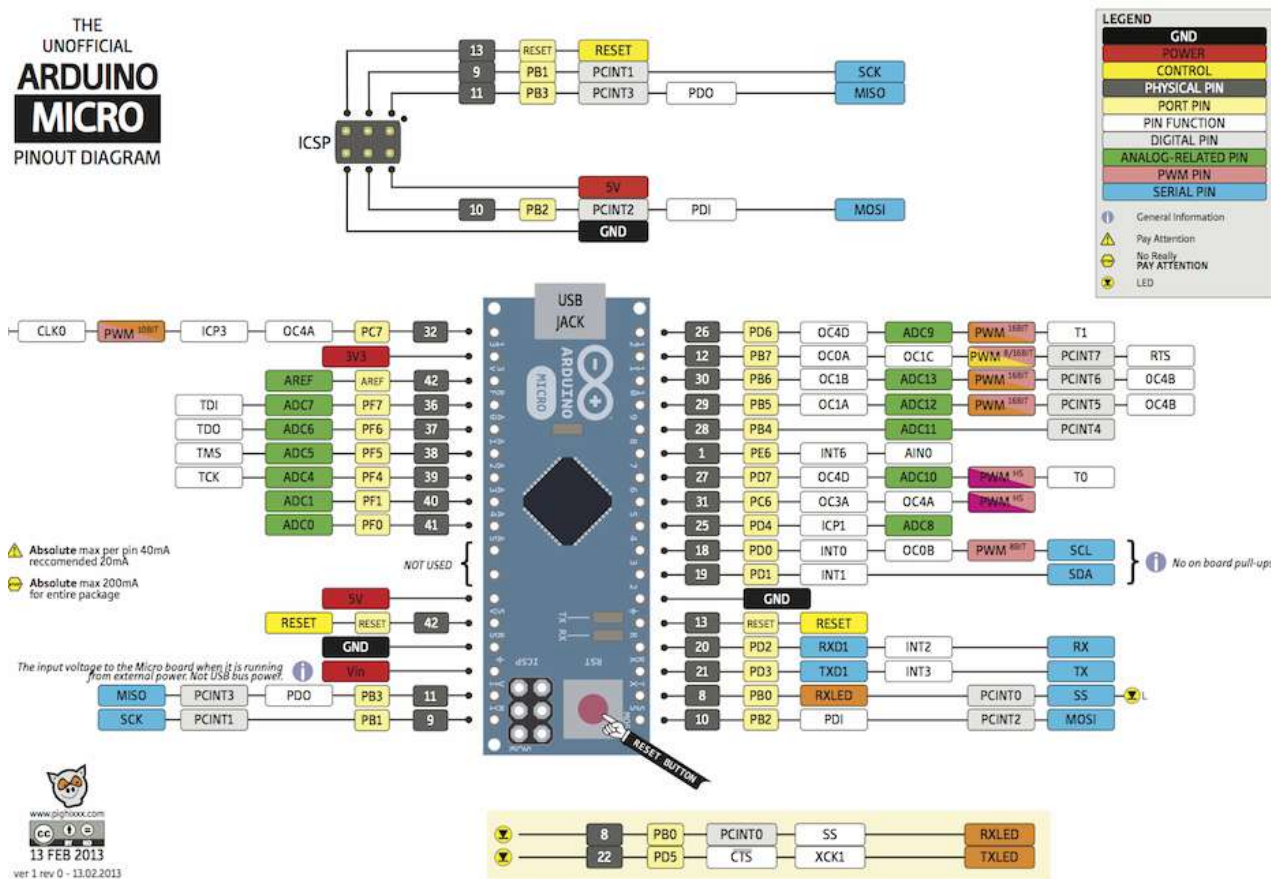


Рисунок 4.11 – Призначення пінів на Arduino MICRO [143]

Power&Gnd - робоча напруга плати Arduino - 5 В. На платі встановлений стабілізатор напруги, тому на вхід можна подавати живлення з різних джерел. Крім цього, плату можна жити з USB-пристроїв. Джерело живлення вибирається автоматично.

Живлення від зовнішнього адаптера, рекомендована напруга від 7 до 12 В. Максимальна напруга 20 В, але значення вище 12 В з високою ймовірністю швидко виведе плату з ладу. Напруга менше 7 може призвести до нестабільної роботи, т.к. на вхідному каскаді може легко губитися 1-2 В. Для підключення живлення може використовуватися вбудований роз'єм DC 2.1 мм або безпосередньо вхід VIN для підключення джерела за допомогою проводів. Також передбачено живлення від USB-порту комп'ютера.

На платах Arduino існує стандартний набір пінів, які відповідають за живлення:

- 5V – на цей пін Arduino подає 5 В, його можна використовувати для живлення зовнішніх пристроїв.
- 3.3V – на цей пін від внутрішнього стабілізатора подається напруга 3.3 В
- GND - вивід землі.
- VIN – пін для подачі зовнішньої напруги.
- IREF* – пін для інформування зовнішніх пристроїв про робочу напругу плати.

Digital Pin – дозволяють зчитувати та подавати на них лише два види сигналів: HIGH (1) та LOW (0). За допомогою PWMpin також можна використовувати цифрові порти для керування потужністю підключених пристроїв. Піни Arduino використовуються для підключення зовнішніх пристроїв і можуть працювати в режимі входу (INPUT), так і в режимі виходу (OUTPUT). До кожного входу може бути підключений вбудований резистор 20-50 кОм за допомогою команди `pinMode ()` в режимі `INPUT_PULLUP`. Допустимий струм на кожному з виходів – 20 мА, не більше 40 мА у піку.

4.2 Розробка мобільного робота на базі мікроконтролера сімейства ATMEGA.

Поділимо процес розробки мобільного робота на дві частини - вибір універсальної платформи і створення робота на базі цієї універсальної платформи. Але перед вибором універсальної платформи для мобільного робота пропишемо вимоги до технічного завдання, а точніше параметри, які ми хочемо реалізувати. Поставимо наступні вимоги до мобільної платформи, платформа має бути:

- міцною;
- вантажопідйомна;
- з гарною прохідністю;
- дорожнім просвітом (кліренсом);
- з можливістю внутрішнього компонування елементів усередині корпусу мобільної платформи.

У відповідності з висунутими вимогами до мобільної платформи, на першому етапі проведемо аналіз та вибір електродвигунів. Приклад проаналізованих електродвигунів наведено на рис. 4.12.



a)

б)

с)

a) Мотор-редуктор а JGA25-370 (6-12V)

б) JGA25-370 DC(6-12V)

с) NHS1018 JGA25-370 DC

Рисунок 4.12 – Двигуни сімейства JGA [144]

Технічні характеристики двигунів сімейства JGA (рис.4.12) наведено у таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Порівняння технічних характеристик двигунів сімейства JGA [144]

Характеристика	JGA25-370 (6-12V)	JGA25-370 DC(6-12V)	NHS1018 JGA25-370 DC
1	2	3	4
Напруга живлення	6-12V		
Тип	DC мотор		
Струм споживання (навантаження)	180mA	-	-
Швидкість обертання (без навантаження)	150-300 об/мин	-	100-600 об/мин
Максимальний момент обертання	0.8 кг*см	-	-
Кількість оборотів вала	100-200 об/мин	100-500 об/мин	100-1000 об/мин
Тип валу	Прямий		
Розміри	25x37		

Судячи з опису на цю серію двигунів, вони мають діапазон робочих напруг 3-36 В, номінальних напруг 6-24 В. Ці двигуни випускаються з різними швидкостями, редукторами і, відповідно, мають різні моменти, що крутять (0,1-10 кг*см). Розмір і місця кріплення у всій серії однаковий, тому ми отримуємо хороше універсальне рішення в плані майбутніх модифікацій — для більш важкої і тягучої платформи, наприклад, можна поставити двигуни з нижчою швидкістю, але кращим крутним моментом. Типізовані номінали робочих напруг для двигунів 6, 12 та 24 Ст.

У зв'язку з вибором живлення двигунів постає питання організації автономного живлення всієї нашої платформи. Батарейки та акумулятори

типорозмірів AA або AAA використовувати не будемо. Будемо використовувати дійсно ємні акумулятори. Наприклад, літій-іонні акумулятори типорозміру 18650, ємність яких варіюється від 1000 до 3500 мАч.

Номінальна напруга одного літій-іонного елемента 18650 становить 3,6-3,7 В. Повністю заряджений елемент видає 4,1-4,2 В. А ось з мінімальною напругою складніше - кінцева напруга розряду залежить від типу акумулятора і ця цифра може коливатися в межах 2,6-3,2 В. Розрядити можна і нижче, але це правильний шлях швидкої деградації елемента живлення. Загрубимо оцінку напруги, що видається акумулятором, діапазоном номінал-максимум. Тоді виходить, що збірки з двох, трьох і чотирьох послідовних акумуляторів дають нам діапазони 7,2-8,4, 10,8-12,6, 14,4-16,8 В. Від такої збірки нам потрібно отримати два напруги – якась напруга для живлення двигунів та 5 В для живлення електроніки. Складанням з двох акумуляторів можна заживити двигуни на 6 В, використавши понижувальний DC/DC перетворювач, але різниця між мінімальним значенням напруги (при розрядці акумуляторної батареї до номіналу це буде 7,2 В) і 6 В буде близько 1,2 В, що може бути недостатньо для стабільної роботи понижуючого DC/DC перетворювача. Щоб уникнути проблем, необхідно мати різницю напруг між його входом і виходом не менше 2 В (насправді може бути і менше для low dropout перетворювачів, але не будемо на них орієнтуватися). Нам цілком підходить збірка з трьох елементів, необхідну напругу ми отримаємо шляхом застосування понижуючих DC/DC перетворювачів. Двигуни можна заживити і на 9, тоді в гіршому випадку ми отримаємо різницю 1,8, що має бути цілком достатньо. Складання з чотирьох елементів так само підійде, але потрібно розуміти, що додатковий акумулятор - це зайва вага і місце, хоч і велика енергоемність всієї батареї. Другий шлях організації живлення – використовувати паралельні з'єднання тих самих акумуляторів та підвищуючий DC/DC перетворювач. Тоді з 3,6-4,2 В напругу можна

підвищити до 5 для електроніки і до 6-9 для двигунів. Здається, що ємність такої акумуляторної збірки легко варіювати шляхом додавання нових елементів, проте не варто забувати, що акумулятори, що використовуються, повинні мати схожі ємність і внутрішній опір. Для заряджання/розряджання послідовних або паралельних акумуляторних батарей існують спеціальні плати-контролери. Контролери захисту захищають акумуляторну збірку від надмірного заряду або розряду (контроль напруги), короткого замикання, перевищення допустимого струму розряду. При використанні таких простих плат потрібне зовнішнє джерело живлення з обмеженням зарядного струму. Контролери заряду/розряду самостійно вміють заряджати акумулятори методом cc/cv з обмеженням зарядного струму. Просунуті контролери для послідовного з'єднання акумуляторів також можуть забезпечувати індивідуальний заряд для кожного акумулятора – балансування елементів акумуляторної батареї.

Виходячи з цього, підходить послідовна схема з'єднання акумуляторів з використанням плати захисту та зовнішнім зарядним пристроєм. У майбутньому таку просту плату контролю можна замінити контролером заряду з балансуванням. Хоча, при паралельному з'єднанні балансування не потрібне, потрібно враховувати, що при сильному зносі якогось одного акумулятора, контролер виявити це не зможе і це може бути небезпечним. Варто враховувати також те, що режими роботи кожного акумулятора будуть інші.

Отже, підійдуть двигуни з номінальною напругою 6 В і робочим діапазоном 3-9 В. Обрано двигун зі швидкістю 281 об/хв і споживанням в режимі холостого ходу 80 мА. Під навантаженням швидкість просідає до 238 об/хв, струм зростає до 380 мА, при цьому двигун видає потужність 2 Вт і розвиває момент, що крутить, в 0,5 кг*см. При стопорі двигуна момент, що крутить, зростає до 4 кг*см, а струм до 900 мА. Фото обраного двигуна сімейства JGA представлено на рис. 4.13.



Рисунок 4.13 – Двигун JGA25 -370 9V 281rpm

Для реалізації самого корпусу пропонується використовувати комплект шасі для конструювання робота (рис.4.14), який містить у собі сам корпус, вищезгадані двигуни, муфти та колеса, а також батарейний відсік для батарейок AA, перемикач живлення, гніздо живлення та кріплення. Сам корпус має безліч отворів, що за логікою робить його легшим і їх наявність має мінімізувати обсяг слюсарних робіт.

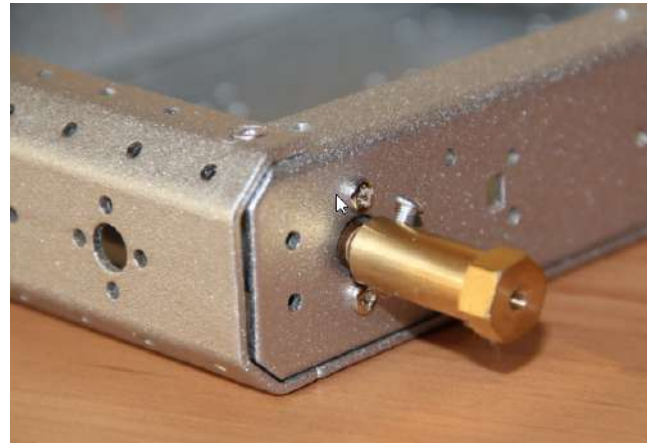


Рисунок 4.14 – Комплект шасі для конструювання робота

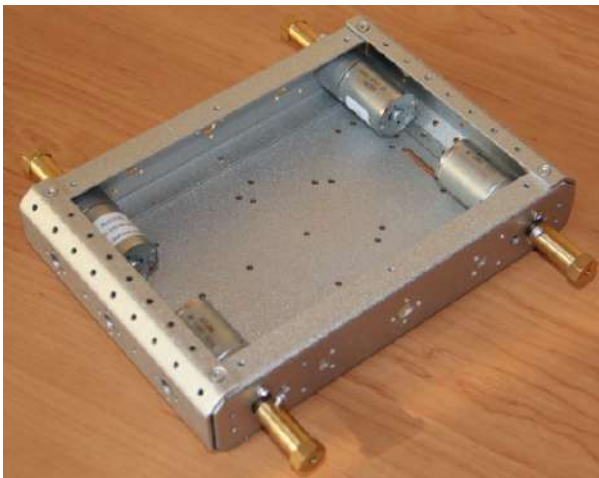
Знімаємо кришку та встановлюємо двигуни. Отвори під двигуни мають діаметр якраз під гвинти М3, не залишено жодного запасу на юстування положення, але це не доставило проблем - отвори чітко збігаються з різьбленням на корпусі двигунів. Базові кроки збирання платформи для мобільного робота представлені на рис. 4.15.



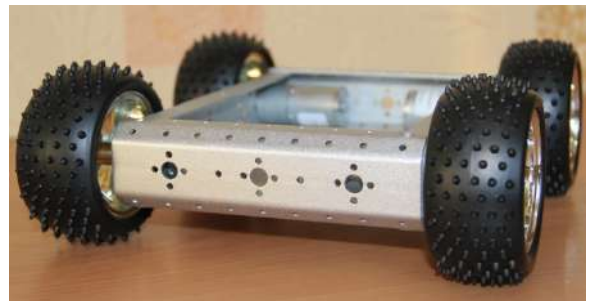
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.15 – Базові кроки збирання платформи для мобільного робота

Наступним кроком є розробка схеми роботи мобільного робота з доступними модулями. Схема підключення модулів представлена на рис. 4.16.

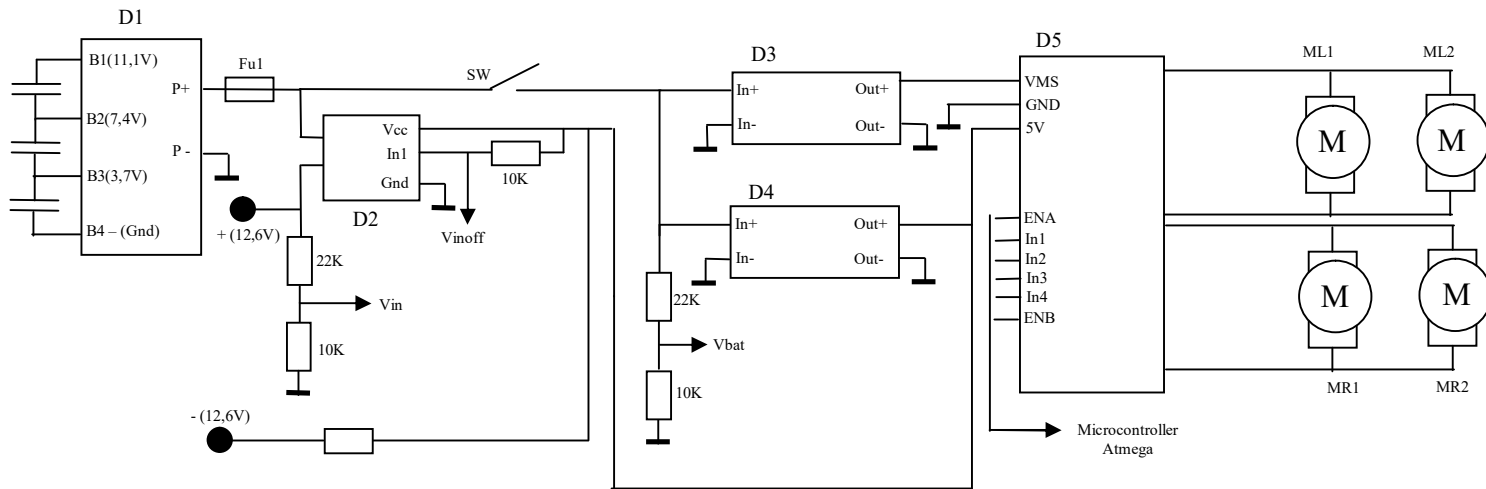


Рисунок 4.16 – Схема підключення модулів мобільного робота на базі світового контролера Atmega

D1 – Module Li-ion board (HX-3S-01)

D2 – Module Relay (HL – 51 v.1.0)

D3 – Module DC/DC (XL4005)

D4 – Module DC/DC (XL4005)

D5 – Module Motor Driver (L298N)

ML1, ML2, MR1, MR2 – Motors (JGA25 -370 9V).

Давайте подивимося за принциповою схемою, що і з чим з'єднуватиметься. До контролера літій-іонних акумуляторів D1 підключаються три акумулятори формату 18650. У всієї схеми "загальна земля", якою і підключений вихід Р-контролера D1. Вихід Р+, через запобіжник FU1 та вимикач SW, підключений до входів DC/DC перетворювачів D3 та D4. Перетворювач D3 формує напругу двигунів, D4 – живлення всієї електроніки. Виходи цих перетворювачів підключені до драйвера двигунів D5, до якого підключені двигуни. До каналу MA підключені двигуни ML1, ML2 лівого борту, а MB – MR1, MR2 правого борту. Драйвер двоканальний, це означає, що можна буде керувати двома групами двигунів (канали А та В), але не індивідуально кожним двигуном. Для управління швидкістю та напрямом обертання двигунів призначені порти ENA, ENB, IN1-IN4. Резистивний ланцюжок, що формує напругу Vbat' підібраний так, щоб сформувати в діапазоні 0...5 телеметрії напруги Vbat акумуляторного блоку. Якщо $V_{bat} = 13 \text{ В}$ (чого не повинно бути, тому що акумуляторний блок може видати максимум 12,6 В), то $V_{bat} = 3,94 \text{ В}$ (тобто значення гарантовано не вийде за межу 5 В). Струм, що протікає через резистивний ланцюжок при 12 В дорівнює 3,6 мА, і ці втрати можна вважати допустимими (порядку 0,1% при ємності акумуляторної батареї 3000 мАч). До входу контролера D1 підключається гніздо для зовнішнього живлення. Проте, бачимо за схемою 4.16., що його підключено через реле D2.

Спочатку хочу пояснити наявність резистора 10 кОм, що підтягує один із виводів у роз'ємі живлення до напруги 5 В. Роз'єм живлення із трьома виходами. Пара виходів передають напругу джерела живлення. Третій вихід є інформаційним. Він замкнутий на негативний вихід (він підключений до землі), якщо штекера в гнізді немає, і розмикається, якщо штекер вставлений у гніздо. Таким чином, ми отримуємо сигнал телеметрії Vinon' про підключення джерела живлення: якщо напруга $V_{inon}' = 0$, то зовнішнє живлення не підключено, якщо $V_{inon}' = 5 \text{ В}$ - підключено.

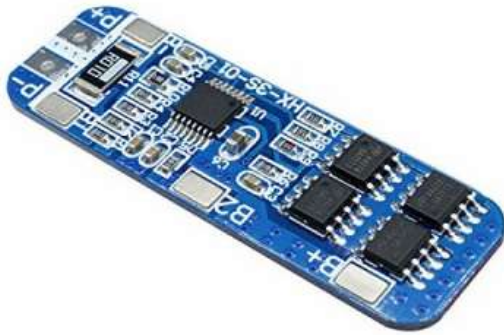
Резистор 10 кОм підтягує цей вихід до 5 В. При підключенні штекера через резистор протікатиме струм 0,5 мА, що цілком прийнятно.

При підключенні зовнішнього джерела через нормально замкнуте реле D2 та запобіжник FU1 акумулятори почнуть заряджатися. Нормально-замкнене реле - це означає, що його виводи завжди замкнуті і розмикаються тільки при подачі напруги на контакт, що управляє. Навіщо реле D2? Допустимо, у нас немає цього реле. Якщо блок живлення підключили до платформи, але забули його включити до розетки – як плата мікроконтролера дізнається – заряджається зараз акумуляторний блок чи ні? А якщо джерело живлення включено в розетку, але не видає напругу? Чи все працює, але джерело живлення видає тільки 10В замість 12В, що покладаються? А якщо таке джерело (яке лише 10 В видає) підключили до акумуляторної батареї, яка ще не розряджена до кінця і видає 11 В, то як дізнатися – ці 11 В формує акумуляторний блок (який насправді вище 10В не видає) чи зовнішнє джерело? Для таких ситуацій і було продумано алгоритм, котрому знадобилося реле. Про підключення зовнішнього джерела живлення ми дізнаємось по телеметрії Vinon'. Відключаємо реле і дивимося на телеметр Vin'. Якщо вона влаштовує і ця напруга знаходиться в очікуваному діапазоні, то вмикаємо реле і сигналізуємо про процес заряду. Якщо не влаштовує – не вмикаємо реле та сигналізуємо про несправність. Процесом аналізу та індикації нехай займається бортова плата керування, а не платформа. Для цього ми передамо їй всю необхідну напругу та сигнал управління для реле Vinoff'. Керуючий вхід модуля реле через резистор 10 кОм підтягуємо до 5, забезпечуючи постійне включення реле. При подачі 0 на цей вхід реле відключиться.

Сучасні МДП транзистори мають низький опір (десятки міліом) у відкритому стані і при протіканні струму в 2-5 А на ньому не буде сильно значущого падіння напруги і, як наслідок, нагрівання - невелику потужність здатний розсіяти сам корпус транзистора навіть без радіатора. Але це все стосується схеми, в якій такий цифровий ключ управлятиме

підключенням джерела живлення до пасивного навантаження. Ми ж ставимо транзистор між двома джерелами, в результаті чого різниця напруг між стоком і витком може бути істотною, що призводитиме до підвищеного тепловиділення і транзистор сильно грітиметься. Так само, для відкриття або замикання транзистора потрібно буде робити ланцюг управління (драйвер), тому що рівень керуючої напруги від плати мікроконтролера 5 В, що недостатньо для створення різниці напруги затвор-виток для управління транзистором (для управління транзистором, наприклад, IRFZ44N нам доведеться подати на його затвор 8-12 для того, щоб його відкрити). Чи то річ – готовий модуль реле, який треба просто підключити і який, якщо вже замкнутий, то гарантовано з'єднує вихід із входом.

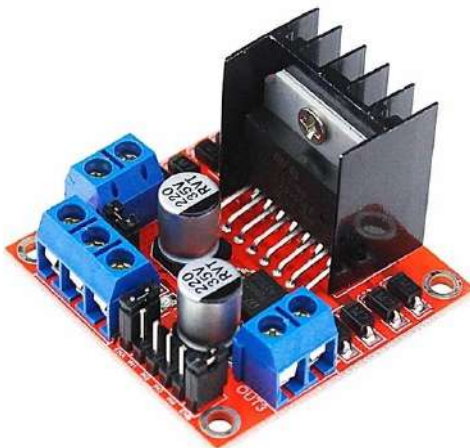
Таким чином, у нас вийшла не просто комутаційна плата, а повноцінна плата живлення. На платі встановлюються DC/DC перетворювачі, резистивні ланцюжки, запобіжник та купа роз'ємів для підключення електроніки. Структурно можна виділити два роз'єми. Роз'єм CON1, до якого підключатимуться батарейний блок, перемикач/кнопка живлення, роз'єм живлення, модуль реле, двигуни, плата драйвера двигунів – вся периферія всередині платформи. І роз'єм CON2, призначення якого - з'єднання з платою управління. На цей роз'єм виводяться сигнали телеметрії та керування, напруги 5 В, а також корисно "прокинути" напругу з акумуляторного блоку Vbat - ми даємо можливість "рівнем вище" організувати свої канали живлення з різними напругами, наприклад, 6 В для живлення сервоприводів. Фотографія вибраних модулів представлена на рис. 4.17.



а)



б)



в)



г)

а) HX-3S-01 [145]; б) XL4005 [146]; в) L298N [147]; г) Модуль реле;

Рисунок 4.17 – Фото модулів для мобільного робота

Результат його компонування обраних модулів усередині корпусу представлено на рис. 4.18.

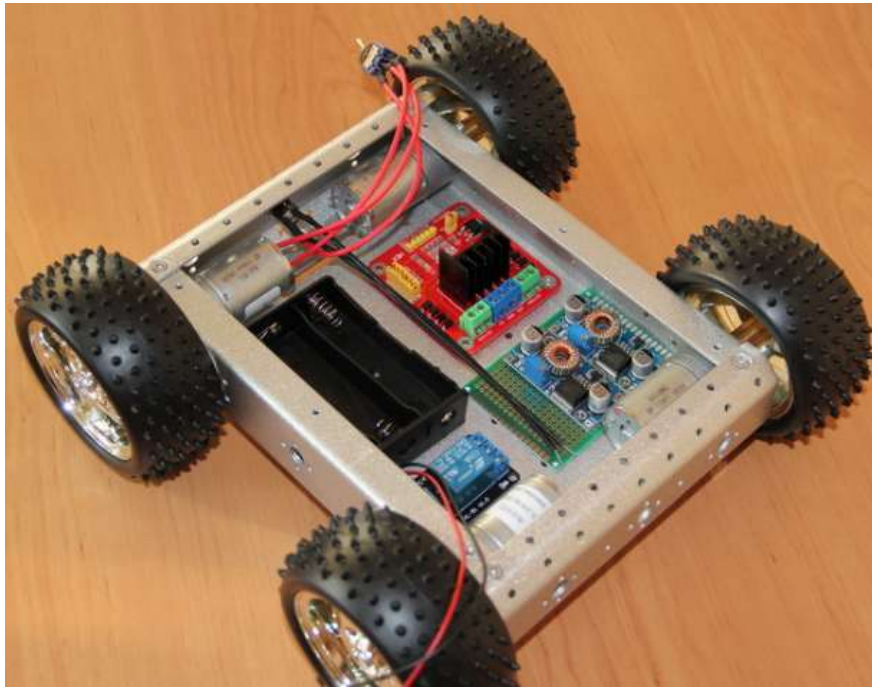


Рисунок 4.18 – Компонування модулів усередині корпусу мобільного робота

Слід зазначити, що для літій-іонних акумуляторів використовується звичайний контролер без балансування. Це означає, що при заряді одного з трьох акумуляторів контролер напевно перерве заряд усіх акумуляторів. Фактично це просто плата захисту від низького розряду і перезаряду акумуляторних батарей і контролем струму розряду. Тому бажано використовувати акумулятори з однаковою реальною ємністю. Якщо використовувати контролер з балансуванням, то підбір за ємністю менш критичний і акумуляторні батареї будуть використовуватися більш ефективно, але такі контролери коштують дорожче і займають більше місця. Як підібрати акумуляторні батареї з однаковою реальною ємністю? Адже, купивши однакові акумулятори з однієї і тієї ж серії навіть від брендів, ємність може відрізнятись на 5-10%, а китайські акумулятори з написами 6000-8000 мАг, взагалі, є акумуляторами з невідомою ємністю. Для виміру реальних ємностей пропонується використати досить популярний зарядний пристрій OPUS BT-C3100. За допомогою нього було перевірено 12 придбаних акумуляторів та відібрано три, розкид ємностей

яких мінімальний і не перевищує кількох відсотків. Місткість акумуляторів LG LGABC21865 була заявлена в 2800 мА, але насправді коливалася в діапазоні 2400-2500 мАг (тестував на струмі 700 мА).

Невеликий відступ у вигляді роздумів. Зарядний пристрій розрахував ємність акумуляторів з урахуванням їхнього заряду до 4,2 В і розряду, якщо я не помиляюся для OPUS BT-C3100, до 2,8 В. У нас же акумулятори не повинні розряджатися менше номіналу в 3,5-3,7 В. Тобто наша робоча ємність батарей значно нижча за виміряну. Це потрібно враховувати. Можливо, в майбутньому варто подумати про акумуляторний блок з чотирьох акумуляторів. А чи можна буде просто замінити акумуляторний блок та блок живлення для його заряду? Давайте прикинемо. У нас вийде діапазон напруг 14,4-16,8 В. Перетворювачі напруги працюють з вхідною напругою до 32 В. Але це можна парирувати на рівні плати управління - якщо напруга телеметрії 5 В, то акумуляторний блок через деякий час буде майже заряджений. З іншого боку, якщо знизити напругу на двигуни до 6-7 В, можна сильніше розряджати наявний акумуляторний блок і більш ефективно використовувати акумуляторні батареї – в цьому випадку потрібно буде лише підлаштувати один перетворювач напруги. На перший погляд, є простір для майбутніх досліджень взагалі без зміни апаратної частини, а вже як саме інтерпретувати сигнали телеметрії в залежності від встановленого акумуляторного блоку – це нехай вирішується на рівні плати управління, тобто поки про це можна не думати.

Вихідні дроти з акумуляторного блоку, що вийшов, зачищено спеціальними кліщами (стрипер) і обтиснуто в металеві контакти, використовуючи обтискні кліщі (кримпер), для надійності пропаяно і на них надіті пластикові корпуси, отримавши BLS роз'єми. При паянні використовувалася паяльна станція, як припой – ПОС-61 без каніфолі, як флюс – безвідмивний FluxPlus NC-D500. Фотографія модуля в збиранні представлена на рис. 4.19.

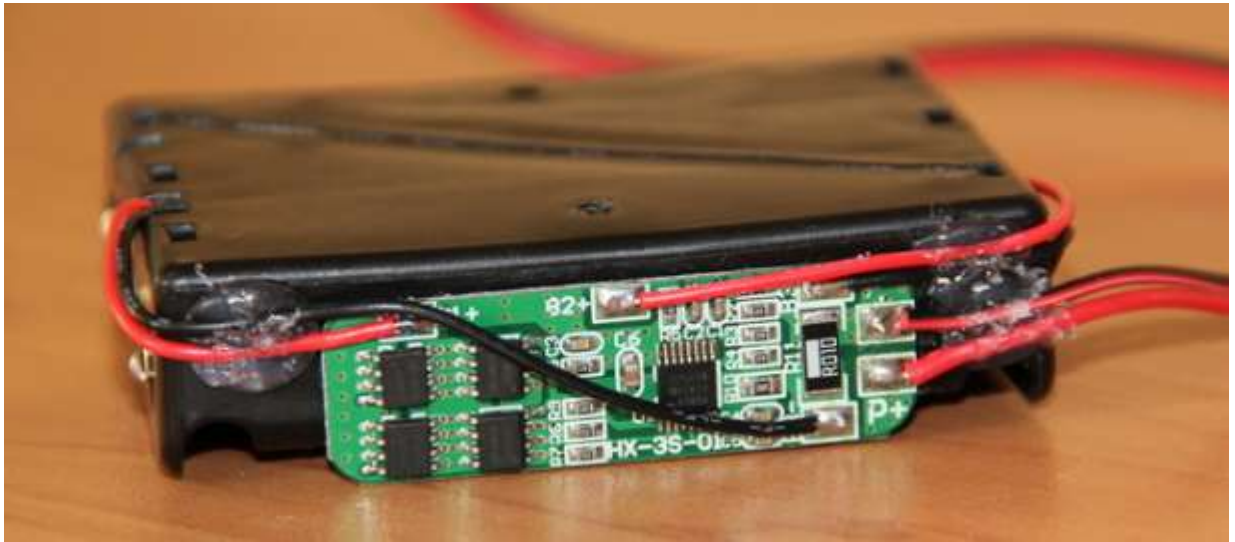


Рисунок 4.19 – Фотографія модуля акумулятора у збиранні

Після складання акумуляторного блоку та встановлення в нього акумуляторних батарей він видавати нічого не буде. Так влаштовано багато контролерів літій-іонних батарей – вони знеструмлюють навантаження при короткому замиканні, сильному розряді, перевищенні розрядного струму. Для того, щоб «скинути» захист і привести акумуляторний блок у робочий вигляд, його потрібно подати 12-12,6 В на контакти +P/-P. Те саме треба зробити після першого приєднання акумуляторних батарей до контролера. Після цього можна переконатися, що блок видає напругу, якщо акумулятори правильно під'єднані до контролера.

Для заряду подібних складання акумуляторів існують блоки живлення з вихідною напругою 12,6 В (3x4,2 В). З таким блоком живлення акумулятори будуть використовуватися більш ефективно, хоча можна використовувати і джерела живлення номіналом 12 В. У нас вже був такий блок живлення з виходом 12,6 В і струмом 5 А. Якщо ж подібне джерело буде купуватися, то варто переконатися, чи відповідає він характеристикам, що заявляються. Найпростіша перевірка – перевірка здатності навантаження. Для цього можна використати керамічні резистори номіналом 1 Ом 10 Вт та 4,7 Ом 10 Вт. Зібравши з таких резисторів складання опором 2,5 Ом, до неї підключено блок живлення та заміряна

напруга на його виході. При розрахунковому струмі $12,6/2,5 = 5$ А наш блок живлення видавав 12,6 В - це відмінний результат. Китайські блоки живлення, на яких написано щось, типу - 12V3A, нерідко починають "просідати" на 10-20% при навантаженні всього близько 1 А.

Проведемо підготовку модулів, як показано на рис. 4.20.

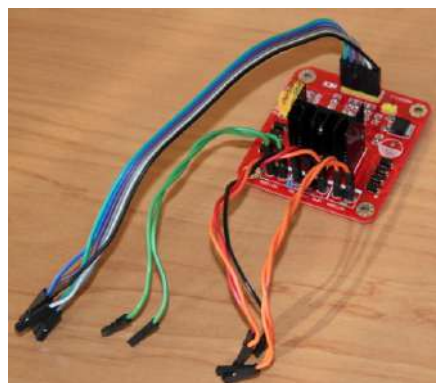
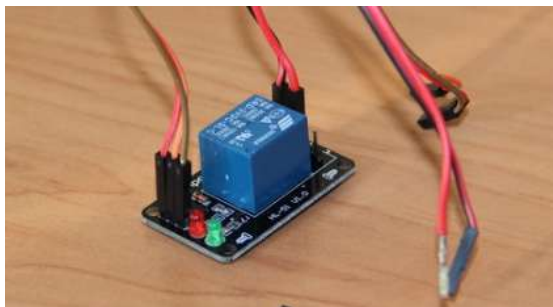


Рисунок 4.20 – Підготовлені модулі

Блок модулів DC/DC перетворювачів (XL4005) був розміщений на макетній платі у вигляді модулів, що знімаються. Фотографія даної реалізації представлена на рис. 4.21.

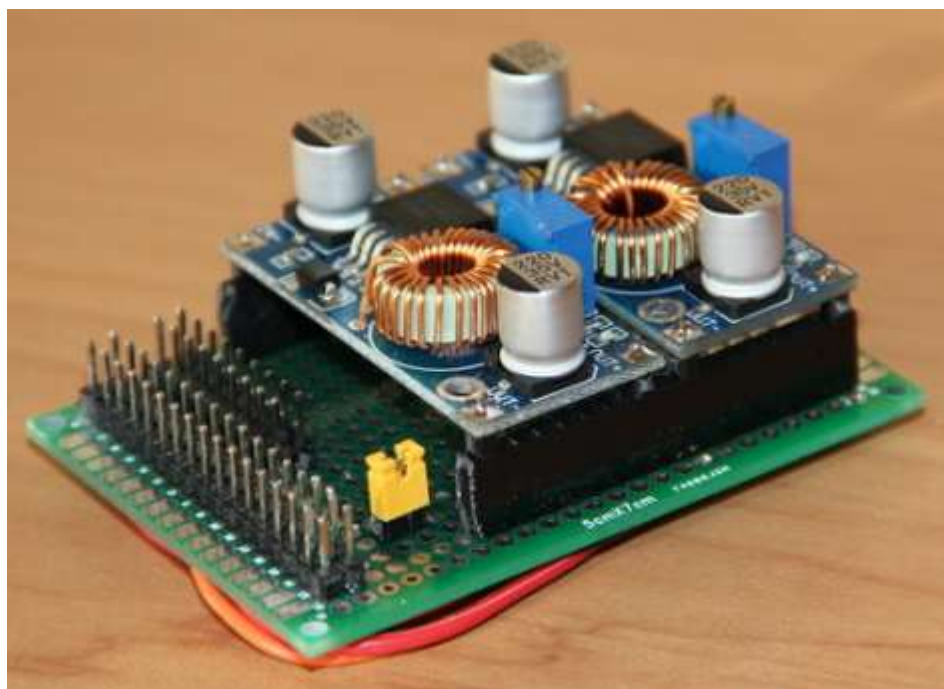


Рисунок 4.21 – Блок модулів DC/DC перетворювачів (XL4005) у вигляді знімних модулів

Після перевірки перед складання слід переконатися, що плата буде нормально працювати при підключенні всієї периферії. Для цього потрібно спочатку підключити акумулятор, перемикач живлення і клацнути перемикачем. Повинні спалахнути світлодіоди на перетворювачах напруги і нічого не згоріти. Поки нічого не підключено, необхідно відрегулювати вихідну напругу перетворювачів. Потім відключається живлення, підключається модуль реле і знову подається живлення. Таким чином, поетапно та під контролем підключається вся периферія.

Проведемо остаточне складання модулів та компонування всередині мобільного робота, результат представлений на рис. 4.22.

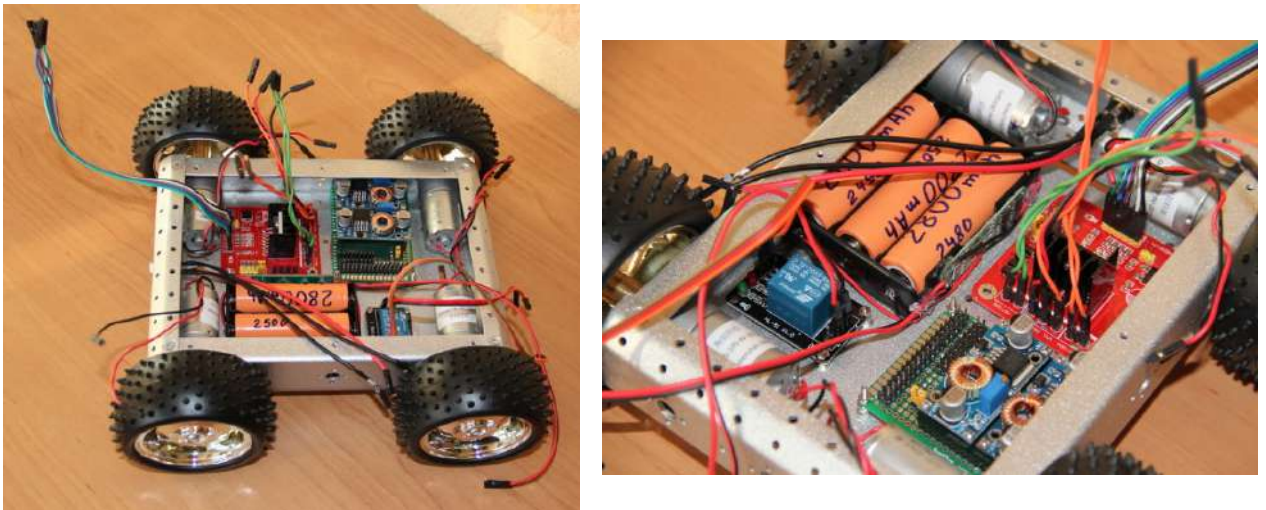


Рисунок 4.22 – Компонування модулів усередині корпусу мобільної платформи

Наступним кроком приступимо до розробки системи управління мобільним роботом на базі мікроконтролера сімейства Atmega. Для реалізації системи управління був обраний модуль Arduino Nano, на базі мікроконтролера AVR ATmega328P. Для віддаленого управління мобільним роботом було прийнято рішення використовувати модуль bluetooth. Дане рішення зумовлене спробою реалізації простого мобільного робота, але за бажання замість Arduino Nano, можна використовувати

ESP32-CAM або ESP8266, що дозволить реалізувати управління на базі технологій IoT з використанням HTTP.

Порівняно з платою живлення, ця плата практично чисто комутаційна. У центрі до 18-контактного трирядного роз'єму підключається шлейф, що з'єднує цю плату управління з платою живлення. З цього роз'єму сигнали розводяться на потрібні контакти плати розширення, які потім потрапляють на потрібні, наперед обрані контакти мікроконтролера. Також на окремі контакти на платі виводиться напруга 5 і Vbat. На платі підведено живлення до bluetooth модуля, його входи Rx/Tx з'єднані з входами Rx/Tx плати Arduino Nano через плату розширення. На платі розташовується двополярний знімний світлодіод, призначення якого - індикація всіх процесів, пов'язаних з живленням. Світлодіод може формувати зелене та червоне постійне світіння, блимати із заданою частотою – цього повинно вистачити для індикації нормальної напруги акумуляторного блоку, його розряду, індикації процесу заряду та повідомлення справності підключеного джерела живлення. Для зручності реалізації у таблиці 4.3 представлена інформація про підключення роз'ємів плати Arduino Nano.

Таблиця 4.3 – Інформація про підключення модулів до системи керування на базі Arduino Nano.

Назва роз'єму на Arduino Nano.	Назва роз'єму на електричній схемі принципової (рис.4.16.)
1	2
D1 (PD1/TX)	TX
D0 (PD0/RX)	RX
PD2/INT0	IN1
PD4	IN2
PD5/PWN	ENA
PD6/PWN	ENB
PD7	IN3

Продовження таблиці 4.3

1	2
IN4	PB0
A0	Vinoff
A1	Vinon
A2	Vin
A3	Vbat
A4 (PC5/I2C/SDA)	LED
A5 (PC5/I2C SCL)	LED

Порти Rx/Tx займає модуль bluetooth, який працює за протоколом UART. Сигнали IN1-IN4 по можливості заведені на цифрові порти – полярність цих сигналів визначатиме напрямок обертання двигунів, а ENA/ENB на ті порти, які дозволяють видавати ШІМ сигнали – ці сигнали будуть задавати швидкість обертання двигунів. Значення сигналів телеметрії платформи оцифруватимуться аналоговими входами A0-A3 плати Arduino Nano. Світлодіод займає порти A4 та A5, причому він підключений через джампери. Справа в тому, що саме ці два порти потрібні для простої організації протоколу I2C і якщо він нам знадобиться, ми просто можемо зняти джампери. Світлодіод ж можна «перекинути» на інші вільні порти або підключити до портів A4 і A5, що звільнилися, модуль розширення портів (наприклад, на базі мікросхеми PCF8574T – дасть додаткових вісім цифрових портів вводу/виводу, управління модулем здійснюється якраз за протоколом I2C), до пари виводів якого і підключити світлодіод. В результаті такого розподілу підключення збереглися можливості безпроблемного підключення пристроїв SPI, оцифрування ще двох аналогових сигналів, видачі до чотирьох ШІМ сигналів (наприклад, для керування сервоприводами). Загалом вільних сигналів хотілося б більше, але їх кількість можна збільшити, використовуючи PCF8574T. Зрештою, можна використовувати ще один Arduino Nano або замінити його

на більш потрібну для необхідних завдань платформу – певний мінімум це рішення цілком забезпечує.

Також наша плата забезпечує просте підключення до живлення: є контакти живлення 5 В і напруги з акумуляторного блоку (до 12,6 В).

Варто відзначити один нюанс плати розширення для Arduino Nano. У принципі, плата розширення дозволяє завести її Vbat. На платі розширення встановлений перетворювач напруги, який знижує вхідну напругу до 5 і подає його на плату Arduino Nano, перетворювач якої знижує його до 3,3 В, і вже ця напруга знімається з плати Arduino Nano і розводиться за відповідними контактами плати розширення. Однак, ми не стали так робити і завели 5 на відповідний контакт плати розширення. Крім цього, контрольний світлодіод на платі розширення взагалі не світився, якщо не встановлена плата Arduino Nano, тобто дана плата розширення без Arduino Nano, мабуть, фактично непрацездатна. Фотографія модуля управління на базі Arduino Nano представлена на рис. 4.23.

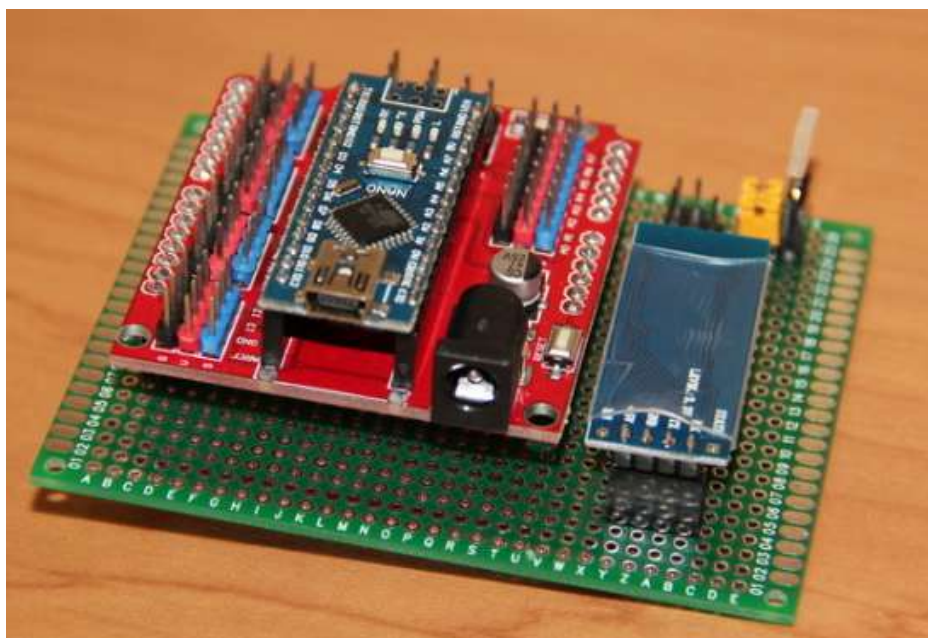


Рисунок 4.23 – Модель управління мобільним роботом у зборі.

Проведемо остаточне складання мобільного робота, з установкою всіх модулів усередині корпусу. Установка системи управління на корпус мобільного робота представлена на рис. 4.24.

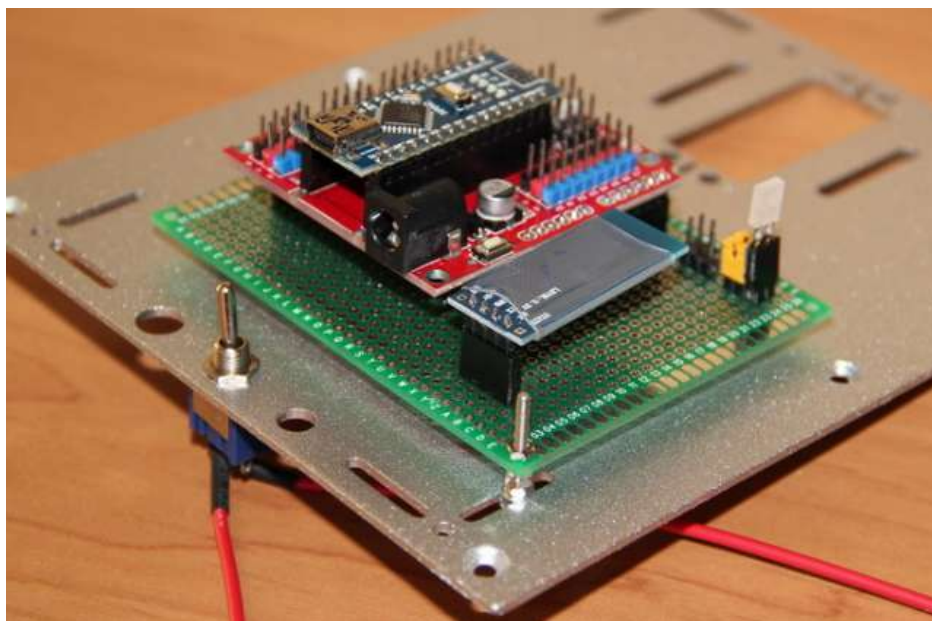


Рисунок 4.24 – Встановлення системи керування на корпус мобільного робота

Тепер потрібно виготовити кабель для з'єднання двох плат. Роз'єми живлення також пропаюємо для надійності. Правильно та дуже уважно перевіряємо все. 12 В має приходити на 12 В, а 5 В – на 5 В. На картинках монтажних плат живлення та управління зображений «вид зверху», тобто, якщо перевернути плати, то з нижньої, розпайкової, сторони плат контакти змінюються місцями – це треба враховувати при виготовленні кабелю та прокидання відповідних проводів у ньому. Роз'єми зроблені просто: спочатку набрався ряд проводів з BLS роз'ємами і обмотувалися на 2 рази скотчем. Потім збиралися всі два/три ряди разом і знову туго обмотувалися скотчем. Виходив цілий і монолітний роз'єм. У невикористаних контактах роз'єму просто поміщалися пластикові BLS роз'єми без контактів.

Після виготовлення кабелю з плати управління знімаються всі електронні плати і вона перевіряється за допомогою мультиметра так само, як і плата живлення. З'єднуємо плату управління з платою живлення та подаємо живлення. За допомогою мультиметра уважно перевіряємо

контакти живлення всіх модулів, перевіряємо напругу сигналів телеметрії – вкотре переконаємося, що все розведено правильно. Можна цього і не робити, самовпевнено все зібрати, подати живлення і виявити, що якимось, звичайно ж містичним, чином переплутані дроти 5 В та Vbat і у нас згоріла плата Arduino та модуль bluetooth. Але краще не повторювати чужих помилок.

На фотографії можна бачити, що один із червоних проводів живлення підфарбований сріблястим кольором. Це позначення провідника, який передає напругу Vbat. Коли збирається пристрій, корисно робити ключі для підключення. Наприклад, спеціально не розпаювати на роз'ємі один PLS контакт, а гніздо у відповідь в кабелі псувати або забивати шматочком ізоляції – в цьому випадку реалізується «захист від дурня», тому що тоді такий кабель на відповідний роз'єм на платі можна встановити тільки безпомилково просто тому, що він інакше не встановиться. Для зручності підфарбовуємо відповідні контакти на роз'ємах. Корисно було б на платі живлення позначити входні роз'єми DC/DC перетворювачів і підфарбувати відповідні гнізда на платі. Це виключило б неправильність установки перетворювачів, а якщо використовувати кілька кольорів, то це виключить переплутування плат перетворювачів, які формують 5 В і 9 В відповідно. Для позначення можна використати яскравий лак для нігтів. Це маленьке правило сильно допомагає при частому складанні/розбиранні пристрою, що розробляється на етапі його налагодження і тестування. Фотографія кабель менеджменту системи управління та внутрішніх модулів представлена рис. 4.25.

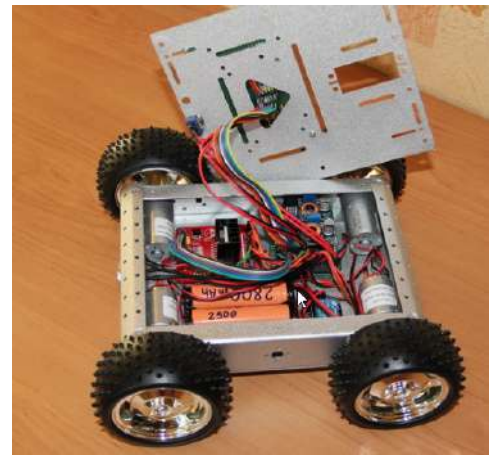
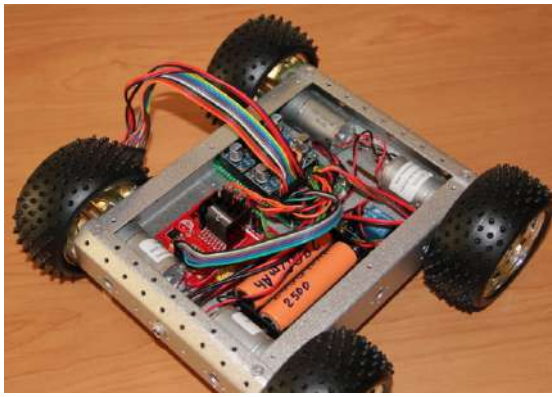


Рисунок 4.25 – Підключення модуля управління та внутрішніх модулів

Проведемо остаточне складання мобільного робота, остаточний результат представлений на рис. 4.26.

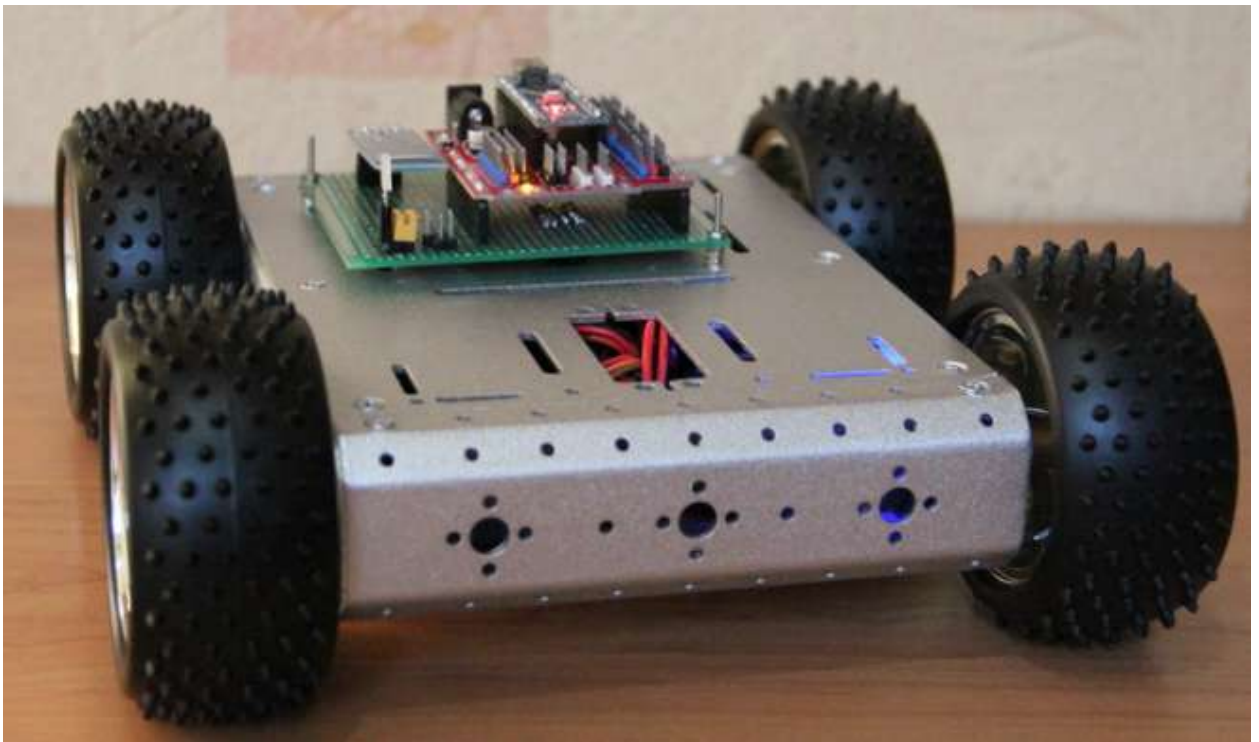


Рисунок 4.26 – Зібраний макет мобільного робота на базі Arduino Nano

4.3. Розробка програми управління мобільним роботом на базі Arduino Nano.

Нехай робот має таку загальну схему (рис.4.27). Мобільний телефон на базі ОС Android є «головним мозком», в якому обробляються всі дані та

проводяться обчислення. На підставі результатів обчислення по Bluetooth каналу передаються команди, що приймаються Bluetooth модулем і надалі надходять по послідовному порту Arduino. Arduino обробляє команди, що надійшли, і виконує їх за допомогою «виконавчих органів» (мотори світлодіоди та ін.). Крім того, в Arduino надходять дані від «органів почуттів» (сенсори, датчики та ін.), які він приводить у зручний вигляд і відправляє за допомогою Bluetooth модуля в «головний мозок». І так все повторюється у циклі.

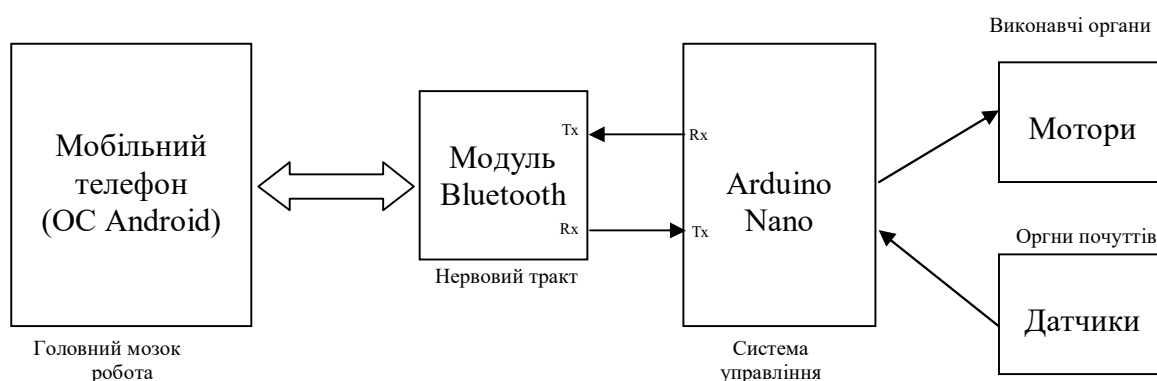


Рисунок 4.27 – Загальна схема керування мобільним роботом

Обґрунтування саме такої схеми робота наступне:

- Bluetooth модуль та Arduino Nano мають низьку вартість, а також маленький об'єм та вагу;

- Android, недорогий і доступний пристрій;

- Android має свої сенсори, датчики та екран для виведення інформації;

- простота написання коду для додатків як для Android так і для Arduino.

Для написання програми управління мобільним роботом можна скористатися такими середовищами:

- Notepad++ + Arduino IDE, цілком працездатна зв'язка –блокнот, в якому дуже зручно писати код, та Arduino IDE, в якій зручно вибирати залізо та завантажувати прошивку;

- Atmel Studio, офіційне середовище для програмування мікроконтролерів AVR. Дозволяє прямо працювати з мікроконтролером, вимагає високий професійний досвід і розуміння;
- PlatformIO, дуже потужне середовище розробки, підтримує багато бібліотек та зовнішніх мов програмування;
- Programino IDE, дуже зручне середовище розробки з набором бібліотек. Єдиний мінус – вона платна;
- B4R, середовище, що дозволяє програмувати Арудіно мовою Basic;
- XOD, дуже цікаве середовище розробки, у якому програма складається з нод (node) – блоків. альтернативна концепція середовища програмування;
- FLProg, ще одне блокове середовище розробки, в якому використовуються блоки замість коду. Підійде для початківців або дуже досвідчених ардуїнщиків.
- Arduino IDE, інтегроване середовище розробки для Windows, MacOS та Linux, розроблене на Сі та С++[2], призначене для створення та завантаження програм на Arduino-сумісні плати, а також на плати інших виробників. У цьому розділі для розробки програми управління мобільним роботом ми скористаємося середовищем розробки Arduino IDE. Це середовище можна завантажити за посиланням <https://www.arduino.cc/en/software>.

На першому етапі напишемо програму для віддаленого управління мобільним роботом за допомогою модуля Bluetooth. Для цього необхідно в середовищі розробки Arduino IDE написати наступний програмний код:

```

/ Оголошуємо змінні
char incomingbyte; // змінна для прийому даних
//motors A (RIGHT)
int R_A_IA = 9; // A-IA
int R_A_IB = 10; // A-IB
//motors B (LEFT)
int L_B_IA = 11; // B-IA

```

```
int L_V_IB = 12; // B-IB
```

// Програмний код, представлений нижче, виконує ініціалізацію та налаштування порту послідовного зв'язку зі швидкістю передачі даних 38400 біт за секунду за допомогою Serial.begin(38400). Потім код визначає та налаштовує пінні контролера Arduino для двох двигунів: правого та лівого. Кожен двигун складається з двох виводів: R_A_IA, R_A_IB для правого мотора і L_V_IA, L_V_IB для лівого мотора. Встановлюється режим виведення (OUTPUT), а потім встановлюється високий рівень сигналу (HIGH) для кожного з цих висновків, імовірно, для початку роботи моторів в якомусь конкретному режимі або напрямку.

```
void setup() {  
  Serial.begin(38400);  
  //motors RIGHT  
  pinMode(R_A_IA,OUTPUT);  
  digitalWrite(R_A_IA, HIGH);  
  pinMode(R_A_IB,OUTPUT);  
  digitalWrite(R_A_IB, HIGH);  
  //motors LEFT  
  pinMode(L_V_IA,OUTPUT);  
  digitalWrite(L_V_IA, HIGH);  
  pinMode(L_V_IB,OUTPUT);  
  digitalWrite(L_V_IB, HIGH);  
}
```

```
void go_forward(){  
  //motors LEFT  
  digitalWrite(L_V_IA, LOW);  
  digitalWrite(L_V_IB, HIGH);  
  //motors RIGHT  
  digitalWrite(R_A_IA, LOW);
```

```
digitalWrite(R_A_IB, HIGH);
}
```

// Цей фрагмент коду є функцією з ім'ям "go_forward", яка використовується для руху робота або пристрою вперед. У середині функції відбувається керування двома моторами: лівим та правим. Для руху вперед на лівому моторі встановлюється сигнал LOW на піні L_B_IA та HIGH на піні L_B_IB, а на правому моторі - LOW на R_A_IA та HIGH на R_A_IB. Ці дії можуть бути частиною управління моторами для пересування вперед у конкретній робототехнічній системі чи проекті.

```
void go_back(){
  //motors LEFT
  digitalWrite(L_B_IA, HIGH);
  digitalWrite(L_B_IB, LOW);
  //motors RIGHT
  digitalWrite(R_A_IA, HIGH);
  digitalWrite(R_A_IB, LOW);
}
```

// Цей фрагмент коду є функцією з ім'ям "go_back", призначену для руху назад. У середині функції керується двома моторами: лівим та правим. Для руху назад на лівому моторі встановлюється сигнал HIGH на піні L_B_IA та LOW на піні L_B_IB, а на правому моторі – HIGH на R_A_IA та LOW на R_A_IB. Ці дії змінюють напрямок обертання моторів, дозволяючи пристрою рухатися у зворотному напрямку, що може бути корисним, наприклад, для роботів або мобільних пристроїв, коли необхідно виконати рух назад.

```
void go_right(){
  //motors LEFT
  digitalWrite(L_B_IA, LOW);
  digitalWrite(L_B_IB, HIGH);
  //motors RIGHT
```

```
digitalWrite(R_A_IA, LOW);  
digitalWrite(R_A_IB, LOW);  
}
```

// Цей фрагмент коду представляє функцію "go_right", призначену до виконання повороту вправо. У середині функції відбувається керування двома моторами: лівим та правим. Для повороту вправо на лівому моторі встановлюється сигнал LOW на піні L_B_IA і HIGH на піні L_B_IB, в той час як на правому моторі обидва пінні, R_A_IA і R_A_IB, встановлюються в LOW. Ці дії створюють різницю в швидкостях обертання моторів і дозволяють пристрою повертати вправо, що може бути корисним, наприклад, в керованих мобільних роботах для зміни напрямку руху.

```
void go_left(){  
  //motors LEFT  
  digitalWrite(L_B_IA, LOW);  
  digitalWrite(L_B_IB, LOW);  
  //motors RIGHT  
  digitalWrite(R_A_IA, LOW);  
  digitalWrite(R_A_IB, HIGH);  
}
```

// Цей фрагмент коду представляє функцію "go_left", створену для здійснення повороту вліво. У середині функції відбувається керування двома моторами: лівим та правим. Для повороту вліво на лівому моторі встановлюються сигнали LOW на обидва пінні, L_B_IA і L_B_IB, тоді як правому моторі встановлюються сигнали LOW на R_A_IA і HIGH на R_A_IB. Ці дії створюють різницю в швидкостях обертання моторів, що дозволяє пристрою повернути вліво, що може бути корисним, наприклад, в мобільних роботах для зміни напрямку руху.

```
void stop_robot(){  
  //motors LEFT  
  digitalWrite(L_B_IA, LOW);
```

```
digitalWrite(L_B_IB, LOW);  
//motors RIGHT  
digitalWrite(R_A_IA, LOW);  
digitalWrite(R_A_IB, LOW);  
}
```

// Цей фрагмент коду представляє функцію `stop_robot`, призначену для негайної зупинки руху робота або пристрою. У середині функції встановлюються низькі сигнали (LOW) всіх пінах, управляючих моторами, як у лівому (L_B_IA і L_B_IB), і правому (R_A_IA і R_A_IB). Це призводить до відключення живлення моторів або їх уповільнення до зупинки, залежно від пристрою та його конфігурації. Цей код корисний для надійного та миттєвого припинення руху в критичних ситуаціях або за необхідності зупинити робота або пристрій.

```
// Основний цикл програми  
void loop() {  
  if (Serial.available() > 0){  
    incomingbyte = Serial.read();  
    if (incomingbyte == '1'){  
      go_forward();  
      Serial.println("FORWARD");  
    }  
    if (incomingbyte == '2'){  
      go_back();  
      Serial.println("BACK");  
    }  
    if (incomingbyte == '3'){  
      go_right();  
      Serial.println("RIGHT");  
    }  
    if (incomingbyte == '4'){
```

```

    go_left();
    Serial.println("LEFT");
}
if (incomingbyte=='0'){
    stop_robot();
    Serial.println("STOP");
}
}
}

```

Коротко пояснимо логіку роботи програми. Оголошуємо змінні: R_A_IA, R_A_IB - визначають номери виводів, які управляють двигуном А (двигуни правої сторони), L_V_IA, L_V_IB – виводи, які управляють двигуном В (двигуни лівої сторони). Ініціюємо послідовне з'єднання і задаємо швидкість передачі даних в біт/с (бод) - 384). Встановлюємо режим роботи виводів керуючих двигунами – OUTPUT (виходи) Подаємо на всі виходи значення HIGH, що означає двигуни відключені.

Визначаємо функції: go_forward(), go_back(), go_right(), go_left(), stop_robot(), які запускають двигуни в прямому або зворотному напрямку обертання, тим самим приводячи робота в рух - вперед, назад, праворуч, ліворуч, стоп, відповідно.

В основному циклі програми відбувається зчитування та обробка даних, отриманих у послідовний порт від БТ модуля. Залежно від отриманої команди виконується та чи інша функція і по послідовному порту передається текст її виконання.

Наступним кроком є розробка програми для OS Android для віддаленого керування мобільним роботом за допомогою модуля Bluetooth. Для управління можна скористатися вже існуючим програмним забезпеченням, але в цьому розділі буде показано базові деякі базові особливості. Створюємо новий проект "Android application project". Для роботи з Bluetooth необхідно виставити права на використання його нашим

додатком. Для цього заходимо в маніфест, вибираємо закладку Permissions, натискаємо add, далі Uses permission, і встановлюємо такі права: android.permission.BLUETOOTH, android.permission.BLUETOOTH_ADMIN

Створюємо основне activity, в res/layout/activity_main.xml помістимо кодIN:

```
<LinearLayout xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="fill_parent"
    android:orientation="vertical" >
```

// Цей фрагмент коду представляє початок визначення макету інтерфейсу для програми на платформі Android з використанням мови розмітки XML. В даному випадку створюється вертикальний контейнер, представлений як "LinearLayout", який буде заповнювати доступний простір у ширину та висоту екрана (fill_parent). Опція "android:orientation" задає орієнтацію елементів усередині контейнера, в даному випадку елементи будуть розташовуватися вертикально один під одним. Цей код служить основою для організації інтерфейсу програми, в який надалі можна буде додавати різні елементи, такі як кнопки, текстові поля та інші віджети.

```
<TextView
    android:id="@+id/txtrobot"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:text="Поле текстовых сообщений" />
```

// представляє елемент інтерфейсу користувача в Android, а саме текстове поле (TextView). Елемент має унікальний ідентифікатор, заданий як @+id/txtrobot, що дозволяє звертатися до нього програмно. Встановлено параметри ширини та висоти так, що текстове поле автоматично підлаштовуватиметься під розмір тексту всередині нього. Текст, який відображається всередині елемента, заданий як "Поле текстових

повідомлень". Цей код призначений для створення та відображення текстової інформації в інтерфейсі Android-програми, наприклад, для виведення повідомлень або інформації користувачу.

```
<LinearLayout  
    android:layout_width="match_parent"  
    android:layout_height="wrap_content" >
```

// Цей фрагмент коду являє собою елемент розмітки інтерфейсу користувача в Android додатку, використовуючи XML. Елемент "LinearLayout" визначає контейнер, який заповнюватиме доступний простір у ширину (match_parent) і автоматично підлаштовуватиметься по висоті (wrap_content) залежно від вмісту. Таким чином, цей фрагмент коду дозволяє створити горизонтальне лінійне компонування елементів інтерфейсу, яке буде розтягуватися по ширині екрана і автоматично адаптуватися по висоті відповідно до вмісту, розміщеного всередині цього контейнера.

```
<Button  
    android:id="@+id/b1"  
    android:layout_width="wrap_content"  
    android:layout_height="wrap_content"  
    android:layout_weight="100"  
    android:text="Вперед" />
```

// Цей фрагмент коду є елементом інтерфейсу в Android, а саме кнопку (Button). Кнопка має унікальний ідентифікатор, заданий як "@+id/b1", який дозволяє звертатися до неї програмно. Задані параметри ширини та висоти елемента так, щоб він автоматично підлаштовувався під розмір тексту всередині кнопки. Текст, який відобразатиметься на кнопці, вказаний як "Вперед".

Цей фрагмент коду створює кнопку з текстовою міткою "Вперед", яка може бути використана в інтерфейсі Android-програми для виконання будь-якої операції або дії, коли користувач на неї натискає

```
</LinearLayout>
```

```
<LinearLayout
```

```
    android:layout_width="match_parent"
```

```
    android:layout_height="wrap_content" >
```

// Цей фрагмент коду являє собою елемент розмітки інтерфейсу користувача в Android-додатку, створений з використанням XML. Елемент "LinearLayout" визначає горизонтальний контейнер, який розтягуватиметься по ширині (match_parent) і автоматично підлаштовуватиметься по висоті (wrap_content) залежно від вмісту, розміщеного всередині нього. Таким чином, цей фрагмент коду дозволяє створити горизонтальне компонування елементів інтерфейсу, що буде займати всю доступну ширину екрана і змінювати висоту відповідно до вмісту для ефективного розміщення елементів інтерфейсу користувача.

```
<LinearLayout
```

```
    android:layout_width="wrap_content"
```

```
    android:layout_height="match_parent"
```

```
    android:layout_weight="100" >
```

// Цей фрагмент коду визначає елемент розмітки інтерфейсу користувача в Android, використовуючи мову розмітки XML. Елемент "LinearLayout" налаштований на вертикальне компонування, оскільки орієнтація за замовчуванням вертикальна. Визначено параметри ширини та висоти: ширина підлаштовується під вміст (wrap_content), а висота займає всю доступну висоту екрана (match_parent) з вагою 100, що дозволяє цьому елементу займати всю доступну вертикальну область екрана рівномірно з іншими елементами в тому самому контейнері. Цей фрагмент коду корисний для організації вертикальних компонок в інтерфейсі Android-додатків.

```
<Button
```

```
    android:id="@+id/b4"
```

```
    android:layout_width="wrap_content"
```

```
android:layout_height="wrap_content"  
android:layout_weight="100"  
android:text="Налево" />
```

// Цей фрагмент коду є елементом інтерфейсу в Android, а саме кнопку (Button). Кнопка має унікальний ідентифікатор, заданий як "@+id/b4", який дозволяє звертатися до неї програмно. Задані параметри ширини та висоти елемента так, щоб він автоматично підлаштовувався під розмір тексту всередині кнопки. Текст, який відображається на кнопці, вказаний як "Налево". Цей фрагмент коду створює кнопку з написом "Налево", яка може бути використана в інтерфейсі Android-програми для виконання будь-якої операції або дії при натисканні на неї, імовірно, для виконання руху або навігації вліво.

```
<Button  
    android:id="@+id/b0"  
    android:layout_width="wrap_content"  
    android:layout_height="wrap_content"  
    android:layout_weight="100"  
    android:text="Стоп" />
```

// аналогічно лише команда «Стоп»

```
<Button  
    android:id="@+id/b3"  
    android:layout_width="wrap_content"  
    android:layout_height="wrap_content"  
    android:layout_weight="100"  
    android:text="Направо" />
```

// аналогічно лише команда «Направо»

```
</LinearLayout>  
</LinearLayout>  
<LinearLayout  
    android:layout_width="match_parent"
```

```

android:layout_height="wrap_content" >
<Button
    android:id="@+id/b2"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_gravity="center"
    android:layout_weight="100"
    android:text="Назад" />
// аналогічно лише команда «Назад»
</LinearLayout>
</LinearLayout>

```

В результаті ми отримаємо інтерфейс управління мобільним роботом через модуль Bluetooth на OS Android. Приклад реалізації інтерфейса користувача даної програми представлено на рис. 4.28.

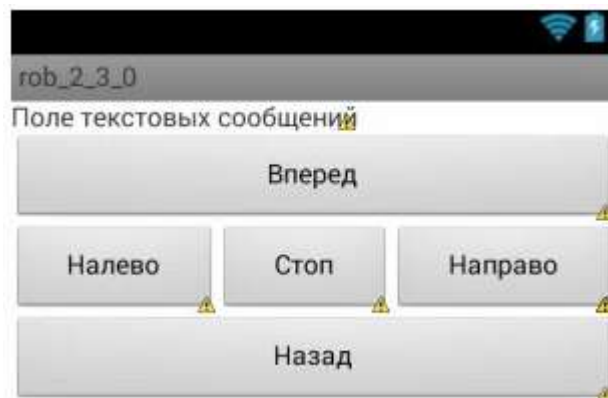


Рисунок 4.28 – Приклад реалізації інтерфейсу управління мобільним роботом

4.4 Питання до IV розділу

1. Які основні переваги використання мікроконтролерів сімейства ATMEGA у порівнянні з іншими платформами для розробки мобільних роботів?

2. Які можливості та функціональність надають мікроконтролери ATMEGA розробникам мобільних роботів для створення складних алгоритмів та управління роботами?

3. Як ATMEGA сприяє в забезпеченні стабільності та надійності мобільних роботів під час роботи в різних умовах?

4. Які інші компоненти та модулі можна легко інтегрувати з мікроконтролерами ATMEGA для підвищення функціональності мобільних роботів?

5. Які приклади успішних реалізацій мобільних роботів на базі мікроконтролерів ATMEGA можна навести для підтвердження їхньої ефективності та переваг?

6. Які етапи включає в себе процес розробки мобільного робота на базі мікроконтролера сімейства ATMEGA?

7. Які функціональні складові робота можуть бути реалізовані за допомогою мікроконтролера ATMEGA, і які конкретні задачі вони допомагають вирішувати?

8. Які основні програмні і апаратні аспекти варто враховувати при розробці мобільного робота на базі мікроконтролера ATMEGA для досягнення найкращої продуктивності та надійності?

9. Які можливості для розширення функціональності мобільного робота надають мікроконтролери ATMEGA і які додаткові модулі або сенсори можна інтегрувати?

10. Які приклади успішних робіт з розробки мобільних роботів на базі мікроконтролерів сімейства ATMEGA можна навести для ілюстрації потенціалу цієї платформи?
11. Які основні функції можна програмувати для керування рухом мобільного робота на Arduino Nano?
12. Як вибрати правильні датчики та актуатори для взаємодії з Arduino Nano в програмі управління роботом?
13. Як можна програмно обробляти дані з датчиків і використовувати їх для прийняття рішень щодо керування рухом?
14. Як програмно визначити реакцію робота на різні ситуації, такі як перешкоди, зміни освітлення або звуку?
15. Як впровадити зв'язок з іншими пристроями або системами через Arduino Nano для розширення можливостей управління?
16. Як забезпечити безпеку та надійність програми управління, особливо при роботі в реальних умовах?
17. Як можна забезпечити можливість дистанційного керування роботом через Arduino Nano, наприклад, за допомогою смартфона або комп'ютера?
18. Як розроблену програму можна оптимізувати для ефективного використання ресурсів Arduino Nano та подовження тривалості роботи від живлення?
19. Які основні кроки та інструменти використовуються для завантаження розробленої програми на Arduino Nano та її тестування?
20. Як можливо розширити функціональність програми управління в майбутньому та додати нові можливості для мобільного робота на базі Arduino Nano?

5. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ BEAM РОБОТІВ У СЕРЕДОВИЩІ TINKERCAD

5.1 Введення в Tinkercad Circuits

Tinkercad Circuits (<https://www.tinkercad.com/>) - це онлайн-платформа, що надає можливість створювати та симулювати електронні ланцюги та пристрої, а також програмувати їхню поведінку. Це потужний інструмент для навчання та експериментування з електронікою та мікроконтролерами без необхідності фізичних компонентів [148].

Ось деякі ключові аспекти введення в Tinkercad Circuits:

- симуляція електронних ланцюгів: Tinkercad Circuits надає доступ до бібліотеки електронних компонентів, які можна використовувати для створення ланцюгів та пристроїв. Ви можете проводити з'єднання, додавати резистори, світлодіоди, мотори та багато інших компонентів;

- програмування мікроконтролерів: Платформа підтримує програмування мікроконтролерів Arduino і дозволяє створювати скетчі (програми) для керування електронікою. Ви можете використовувати Arduino IDE [149] або Tinkercad Code Editor для написання коду;

- візуалізація та налагодження: Tinkercad Circuits надає візуальне представлення роботи вашого ланцюга. Ви можете відстежувати потік електрики, анімації світлодіодів та двигунів, а також відстежувати дані з датчиків. Це допомагає розуміти роботу вашого ланцюга;

- навчання та освіта: Платформа дуже корисна для навчання електроніці та програмуванню. Вона використовується як у класах, так і для самоосвіти. Tinkercad Circuits пропонує навчальні матеріали та проекти для студентів та людей, які бажають навчитися електроніці;

- спільне використання та спільнота: Ви можете створювати проекти та ділитися ними з іншими користувачами Tinkercad. Це створює активну

спільноту людей, які обмінюються знаннями та досвідом у галузі електроніки.

Після стандартної реєстрації на сайті Tinkercad, користувачеві он-лайн платформ буде доступні такі функції:

- 3D Design – це потужний та інтуїтивно зрозумілий онлайн-додаток для створення тривимірних моделей та прототипів. Воно надає доступ як новачкам, так і досвідченим дизайнерам до легкого та креативного процесу створення 3D-моделей без необхідності просунутих навичок у 3D-проекуванні.

- Circuits – це потужний онлайн-додаток, який дозволяє створювати, симулювати та експериментувати з електронними ланцюгами та компонентами без необхідності фізичних компонентів чи спеціалізованого обладнання. Ця платформа є цінним ресурсом як для початківців, так і для досвідчених електронників і програмістів.

- Codeblocks – це інтегроване середовище розробки (IDE) з відкритим вихідним кодом, призначене для програмування різними мовами, включаючи C, C++ та Fortran. Ця популярна IDE забезпечує програмістів зручними інструментами для створення, налагодження та складання додатків.

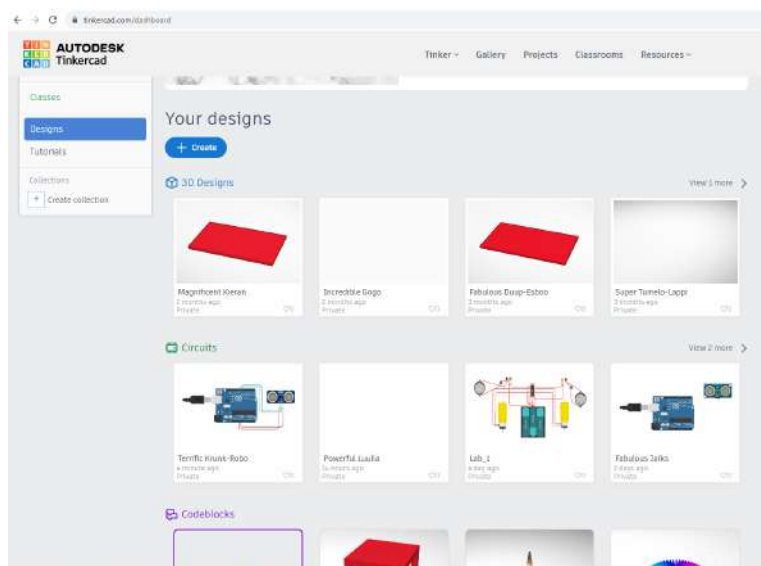


Рисунок 5.1 – Головна сторінка Autodesk Tinkercad

Головна сторінка Autodesk Tinkercad Приклад головної сторінки Autodesk Tinkercad представлений на рис. 5.1. В рамках даного розділу для моделювання роботи мобільних роботів нам необхідно вибрати посилання «Circuits», що дозволить нам потрапити до меню «You Design» модуля «Circuits». Приклад меню «You Design» модуля «Circuits» наведено на рис. 5.2

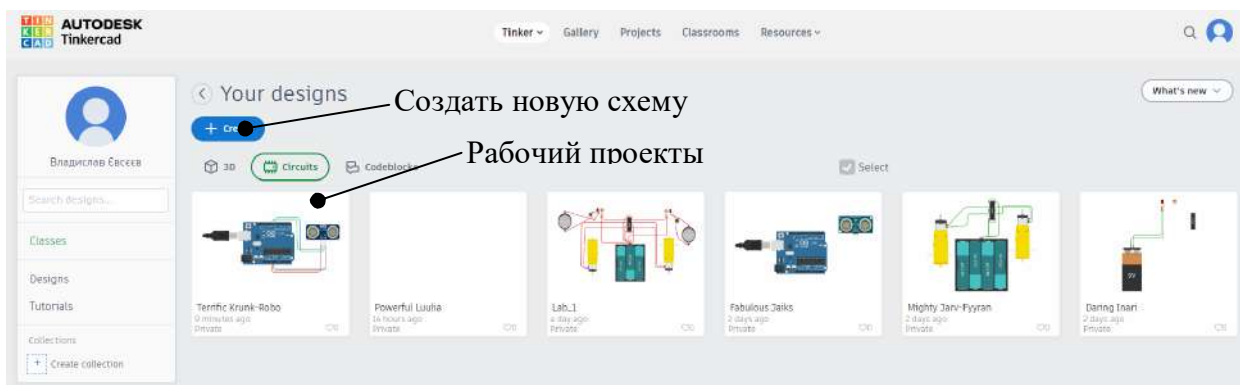


Рисунок 5.2 – Меню «You Design» модуля «Circuits»

Робочі проекти – містять послідовність створених схем моделювання, як особисті, так і групові розробки з можливістю редагування та сумісного доступу;

Створити нову схему – створює новий «порожній» проект для моделювання схеми принципової електричної.

При натисканні на «Create» користувачеві випадає drop menu з функціями, що діють, як показано на рис. 5.3

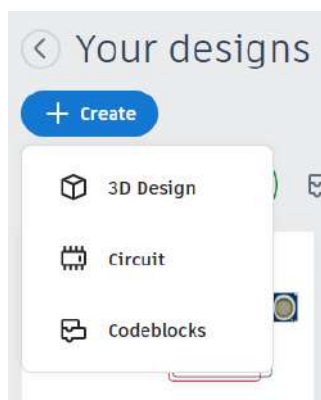


Рисунок 5.3 – Вибір модуля для роботи у середовищі Autodesk Tinkercad

Після вибору в меню «Circuits», нам стає доступним редактор для моделювання схем електричних принципних, як показано на рис. 5.4

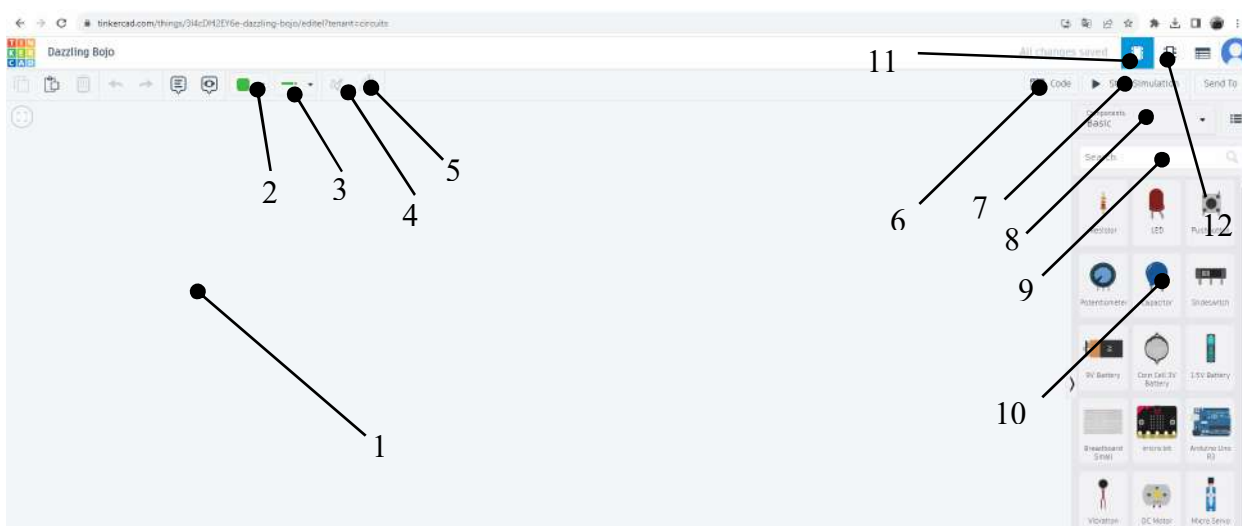


Рисунок 5.4 – Загальний вигляд редактора "Circuits" середовищі Autodesk Tinkercad

- 1 – робоча зона для моделювання схем електричних важливих;
- 2 – Write color (key 1,2,3,4), колір ліній з'єднання між компонентами, можна вибрати колір для зручностей візуалізацій з'єднань залежно від їх призначення;
- 3 – Write type (key Shift+1,2,3,4), тип ліній (normal, hookup, alligator,automatic);
- 4 – Rotate (key R), обертання компонента на робочій зоні з кроком 150
- 5 – Mirror component (key M), віддзеркалення компонента
- 6 - Toggle code editor, вікно editor програмного коду, для управління мікроконтроллером. Тут можна тестувати та моделювати роботу програмного коду управління схемою;
- 7 – Start/stop simulation, кнопка запуску або зупинки моделювання роботи зібраної схеми та програмного забезпечення мікроконтролера;

8 – Find more components, що видають меню яке містить: компоненти (basic, all) і навіть набір Startes (Basic, Arduino, Micro:Bit, Circuit Assemblies, All);

9 – Search for components (key Ctrl+F) меню пошуку компонентів за назвою;

10 – Components panel, панель візуалізацій позначення компонентів.

11 – Circuit View, режим відображення робочої зони як компонентів схеми;

12 – Schematic View, режим відображення робочої зони у вигляді схеми електричної принципової (автоматично перебудовується зображення залежно від вибраного режиму).

5.2 Моделювання роботи датчика HC-SR04

Побудуємо схему підключення для моделювання роботи ультразвукового датчика HC-SR04. Першим кроком необхідно дослідити принцип роботи даного датчика, технічні характеристики та призначення раємів для підключення.

Датчик HC-SR04 – це ультразвуковий датчик відстані, який використовує ультразвукові хвилі для вимірювання відстані до об'єкта. Принцип його роботи заснований на вимірі часу, який потрібний ультразвуковому сигналу на шляху до об'єкта і назад [150]

Принцип роботи датчика HC-SR04 наступний:

- випуск ультразвуку: Датчик посилає короткий ультразвуковий імпульс у напрямку об'єкта, який необхідно виміряти.

- відображення сигналу: Ультразвукова хвиля стикається з об'єктом і відбивається від нього. Час між моментом відправлення сигналу та моментом його прийому після відображення називається часом затримки.

- вимірювання часу затримки: Датчик HC-SR04 вимірює цей час затримки з високою точністю, використовуючи внутрішній таймер. Це час затримки пропорційно відстані до об'єкта.

- обчислення відстані: Датчик використовує вимірний час затримки та заздалегідь відому швидкість поширення ультразвукових хвиль у повітрі (близько 343 м/с на кімнатній температурі) для обчислення точної відстані до об'єкта. Відстань (d) розраховується за такою формулою: $d = (\text{час затримки} * \text{швидкість звуку}) / 2$.

Загальний вигляд датчика HC-SR04 та призначення контактів наведено на рис. 5.5



а) Загальний вигляд датчика HC-SR04; б) Призначення пінів датчика.

Рисунок 5.5 – Датчик HC-SR04 [150]

Принцип роботи датчика HC-SR04 наведено на рис. 5.6. Датчик HC-SR04 може вимірювати відстані від декількох сантиметрів до декількох метрів з високою точністю. Цей простий і надійний принцип роботи робить його широко використовується в різних областях, таких як робототехніка, автоматизація та багато інших.

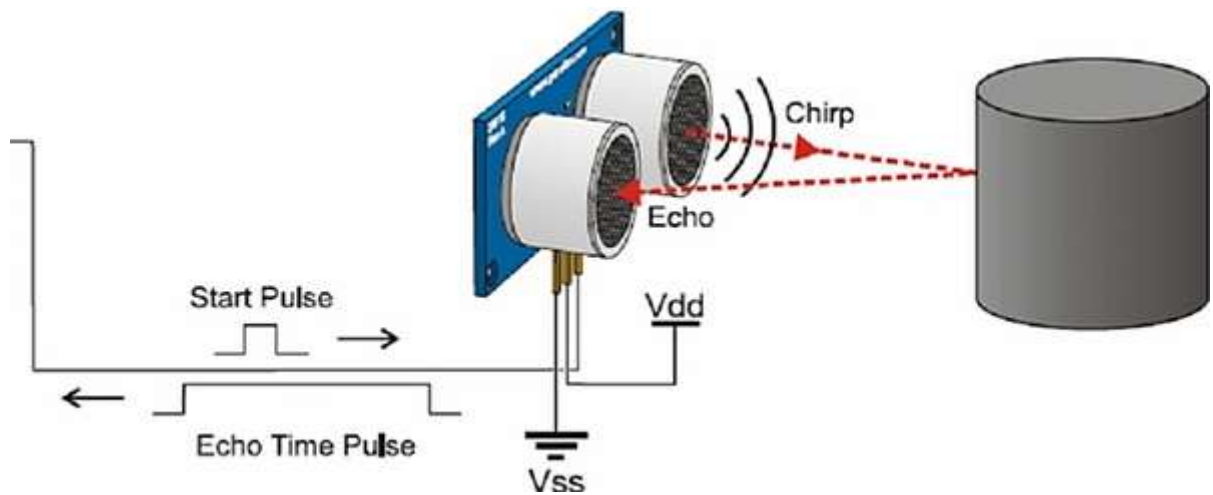


Рисунок 5.6 – Принцип роботи датчика HC-SR04.

Незважаючи на те, що датчик HC-SR04 є корисним і доступним ультразвуковим датчиком для вимірювання відстані в робототехніці та автоматизації, однак він також має деякі обмеження та недоліки:

- Обмежений діапазон вимірювання: HC-SR04 має обмежений діапазон вимірювання, зазвичай від 2 см до 4 метрів. Це може бути недоліком, якщо потрібно вимірювати більші або менші відстані;

- вплив на точність при зміні температури: швидкість звуку в повітрі залежить від температури, і зміни температури можуть впливати на точність вимірювань HC-SR04. Це може вимагати додаткових корекцій у деяких додатках;

- обмеження при вимірюванні відбивних об'єктів: Датчик HC-SR04 може стикатися з поверхнями, що важко вимірюються, такими як м'які або абсорбуючі матеріали, що може знижувати точність вимірювань;

- роздільна здатність та швидкість вимірювання: HC-SR04 надає обмежену роздільну здатність та швидкість вимірювання в порівнянні з деякими більш просунутими датчиками. Це може бути проблематично у деяких вимогливих додатках;

- перешкоди та інтерференції: У середовищах з безліччю шумів та луна (наприклад, у вузьких та закритих приміщеннях), датчики HC-SR04 можуть

зазнавати впливу перешкод та інтерференцій, що може викликати неточності у вимірюваннях.

Незважаючи на ці недоліки, HC-SR04 залишається популярним і доступним вибором для багатьох робототехнічних додатків, і його обмеження можуть бути усунені або зменшені за допомогою правильного калібрування та інтеграції в систему керування роботом.

Зберемо схему для моделювання роботи датчика HC-SR04 на базі плати Arduino Uno та опишемо програмний код для середовища Arduino IDE. Для цього скористаємося вбудованими компонентами в редакторі «Circuits» середовища Autodesk Tinkercad. Приклад зібраної схеми представлений на рис. 5.7.

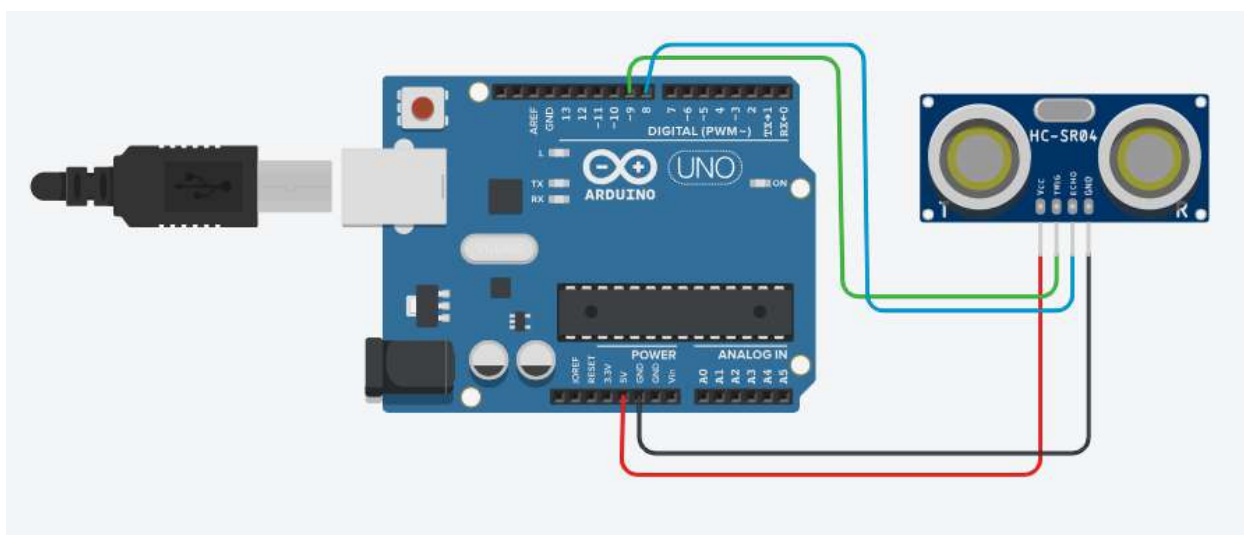


Рисунок 5.7 – Схема підключення датчика HC-SR04 до Arduino Uno

У схемі підключення (рис.5.7), червоним кольором позначено підключення живлення (+5V), чорним кольором позначено землю (Gnd), а підключення цифрових пінів датчика позначено зеленим (Triger) та синім (Echo) кольором відповідно. Дані піни підключені до Arduino Uno до роз'ємів Digital (PWM~): Triger - >9, Echo - >8 пін.

Наступним кроком необхідно написати код для мікроконтролера на базі Arduino Uno. Для цього скористаємося кнопкою «Code» (рис.5.4 поз.6) та в

редакторі програмного коду напишемо програму управління та обробки даних з датчика HC-SR04. Приклад програми розрахунку відстані «Circuits» середовищі Autodesk Tinkercad представлений нижче. Варто зауважити, що програми для мікроконтролерів написані в середовищі Autodesk Tinkercad «Circuits» повністю сумісні з середовищем розробки Arduino IDE.

```
int trigPin = 9; // призначаємо ім'я для Pin8 для піна Triger HC-SR04
int echoPin = 8; // призначаємо ім'я для Pin9 для піна Echo HC-SR04
// функція налаштування
void setup() {
  Serial.begin (9600); // підключаємо монітор порту
  pinMode(trigPin, OUTPUT); // призначаємо trigPin, як вихід
  pinMode(echoPin, INPUT); // призначаємо echoPin, як вхід
}
// основна функція програми роботи з датчиком HC-SR04
void loop() {
  int duration, cm; // призначаємо змінну "cm" та "duration" для показань
датчика
  digitalWrite(trigPin, LOW); // спочатку датчик не надсилає сигнал
  delayMicroseconds(2); // ставимо затримку в 2 мікросекунди
  digitalWrite(trigPin, HIGH); // посилаємо сигнал
  delayMicroseconds(10); // встановлюємо затримку в 10 мікросекунд
  digitalWrite(trigPin, LOW); // вимикаємо сигнал
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH); // вмикаємо прийом сигналу
  cm = duration / 58; // обчислюємо відстань у сантиметрах
  Serial.print(cm); // виводимо відстань у сантиметрах
  Serial.println(" cm");
}
```

Приклад виконання даного кроку наведено на рис. 5.8.

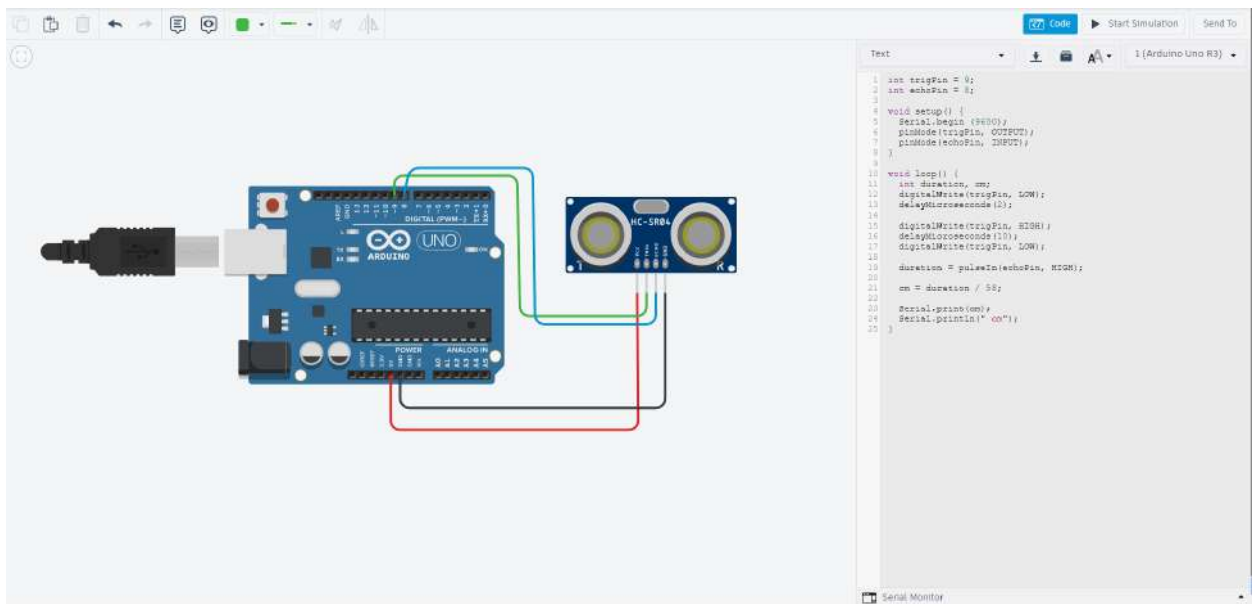


Рисунок 5.8 – Схема моделювання роботи датчика HC-SR04 із відкритим редактором «Coda»

Наступним кроком запустимо моделювання роботи програми "Start Simulation" (рис.5.4., поз.7.) і проведемо аналіз отриманих даних з "Serial Monitor". "Serial Monitor" - це монітор порту, в який можна виводити проміжні дані, оцінювати роботу програми та схеми, а також проводити тестування. У режимі "Start Simulation" кнопкою миші наведемо на датчик HC-SR04, і отримаємо можливість моделювати знаходження перешкоди, як показано на рис. 5.9.

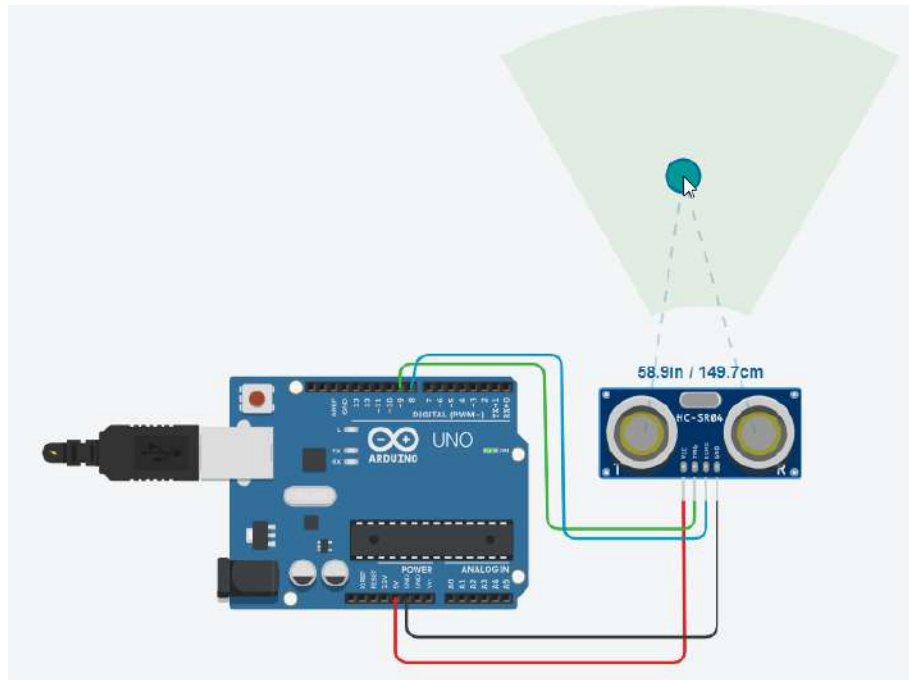
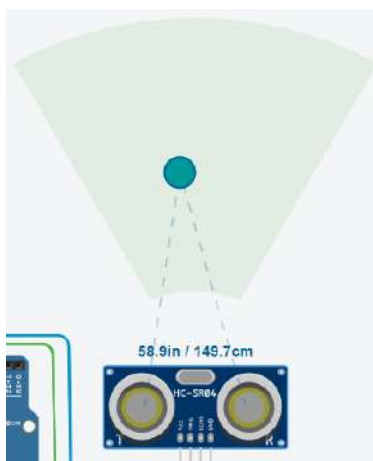
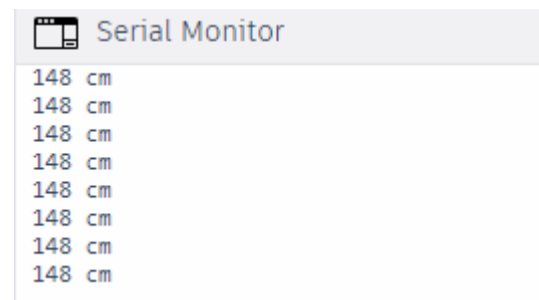


Рисунок 5.8 – Приклад моделювання роботи датчика HC-SR04 з перешкодою в зоні.

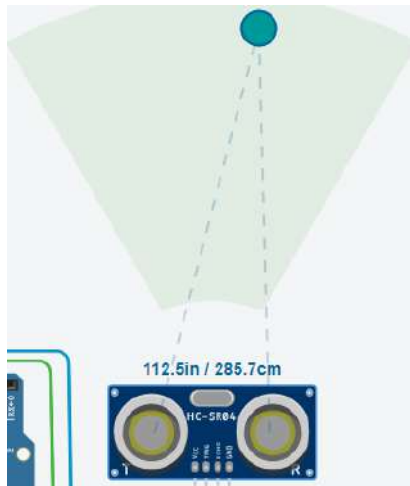
При переміщенні об'єкта в робочій зоні датчика HC-SR04, відповідно до розробленої програми управління, в «Serial Monitor» будуть виводитися дані про відстань до перешкоди розраховані Arduino Uno. Приклад отриманих розрахунків наведено на рис. 5.9



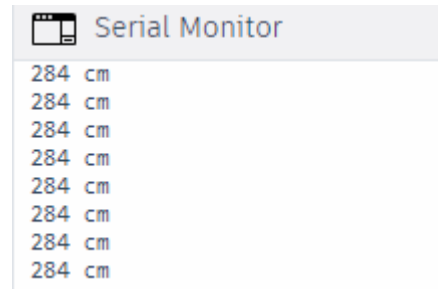
а)



б)



в)



г)

Рисунок 5.9 – Результати моделювання роботи датчика HC-SR04 при різних відстанях до об'єкта

Особливістю редактора «Circuits» середовища Autodesk Tinkercad є наявність вбудованої функції «Toggle graph». Toggle graph (перемикання графіка) - це функція в редакторі "Circuits" середовища Autodesk Tinkercad, що дозволяє відобразити та приховувати графіки даних та вимірювань у процесі симуляції електронних кіл. Ця функція корисна при налагодженні та моніторингу роботи ланцюгів та пристроїв.

Дозволяє працювати з датчиками, вимірювальними приладами або іншими елементами електронного ланцюга в режимі симуляцій, дає можливість записувати дані, такі як напруга, струм, температура та інші параметри. Переваги Toggle graph:

- зручність моніторингу: дає можливість спостерігати зміни даних у реальному часі та аналізувати їх на графіках для більш детального розуміння роботи вашого електронного ланцюга;

- ефективне налагодження: Відключення графіків тимчасово знижує навантаження на ресурси вашого комп'ютера, що корисно при роботі з більш складними та більшими проектами;

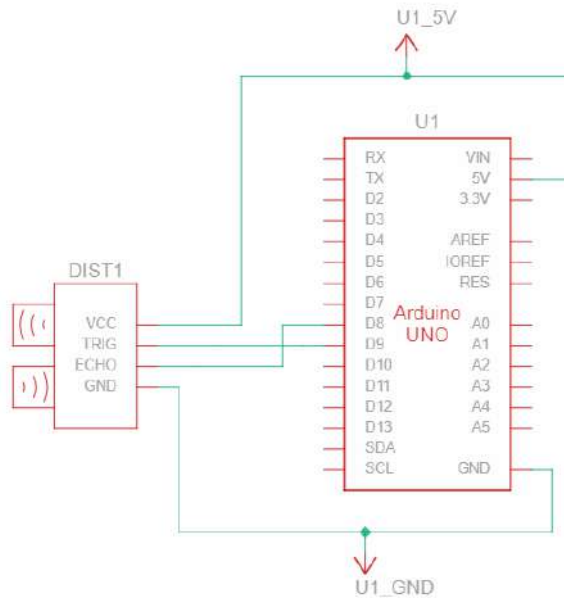


Рисунок 5.11 – Автоматично згенерована схема електрична принципова у редакторі «Circuits» середовища Autodesk Tinkercad.

5.3 Моделювання роботи драйвера двигуна L298D

L298D – це подвійний H-мост (руховий драйвер), який призначений для керування двома постійними або кроковими моторами, принцип його роботи та призначення пінів на мікросхеми наведено у попередньому розділі [151]. Мета даного підрозділу за допомогою вбудованих функцій редактора "Circuits" середовища Autodesk Tinkercad, провести моделювання управління роботою двох DC двигунів DC 3V-6V (рис.2.4а). Для цього зберемо схему моделювання, яка представлена на рис. 5.12.

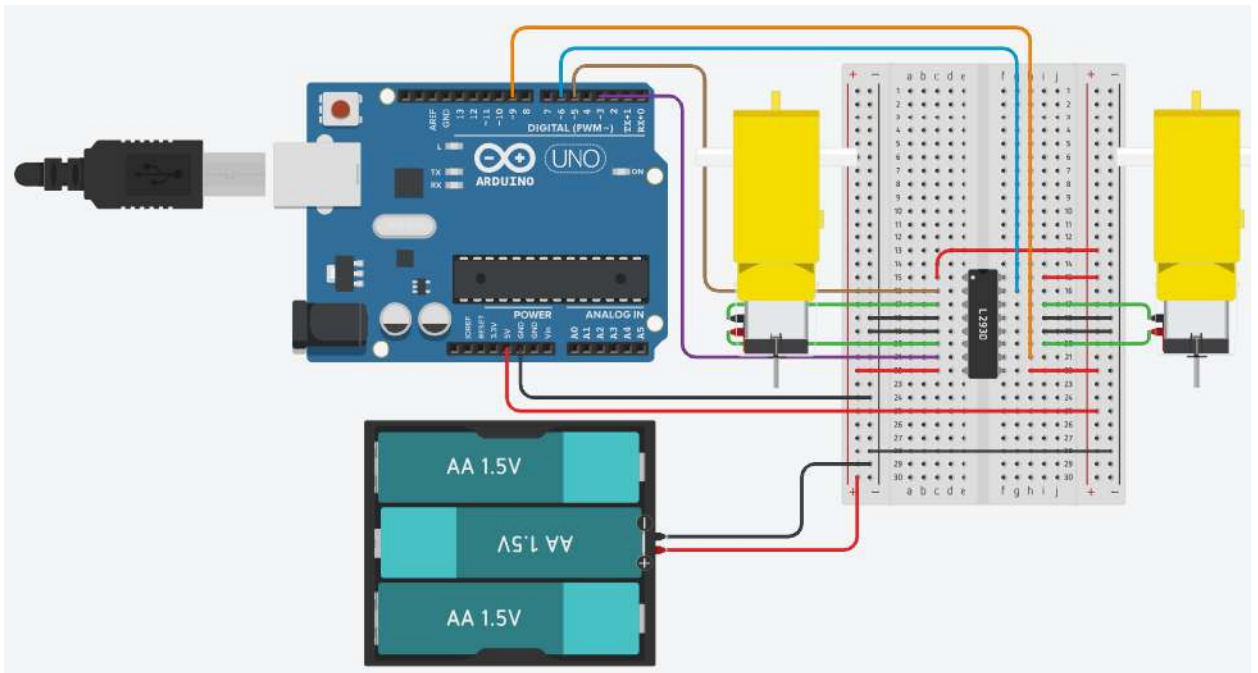


Рисунок 5.12 – Схема моделювання роботи драйвера двигуна L298D

Позначимо через червоні підключення живлення V_{cc} (+5V), а чорним відповідно Gnd (-). Зеленим підключимо живлення DC 3V-6V (V_{cc} , Gnd). Управління роботою драйвера двигуна L298D буде здійснювати за допомогою Arduino Uno, за підключення до Digital pins (9,6,5 і 3 відповідно), для зручності візуалізацій вони пофарбовані в різні кольори.

Наступним кроком необхідно написати код для мікроконтролера на базі Arduino Uno. Для цього скористаємося кнопкою Code (рис.5.4 поз.6) і в редакторі програмного коду напишемо програму управління роботи драйвера двигуна L298D. Приклад програми середовищі Autodesk Tinkercad представлений нижче, варто зауважити, що програми для мікроконтролерів написані в середовищі Autodesk Tinkercad «Circuits» повністю сумісні з середовищем розробки Arduino IDE.

//Змінні i1, i2, d1 та d2 у даному контексті, використовуються для визначення пінів (портів) мікроконтролера Arduino, які будуть використовуватися для керування драйвером двигуна L298D. Ці піни будуть підключені до відповідних контактів L298D для управління напрямом та швидкістю двигунів.

```
int i1 = 3;
int i2 = 5;
int d1 = 6;
int d2 = 9;
int time = 2000;
void setup()
```

```
{
  // pinMode(i1, OUTPUT); і pinMode(i2, OUTPUT);: Ці рядки встановлюють
  пінни i1 та i2 як виходи (OUTPUT). Зазвичай, у випадку драйвера L298D, пінни
  i1 і i2 використовуються для управління напрямом двигуна 1. Встановлення
  їх в режим OUTPUT означає, що на ці пінни можна надсилати сигнали для
  управління напрямом руху двигуна (наприклад, вперед, назад або зупинка).
```

```
  pinMode(d1, OUTPUT); і pinMode(d2, OUTPUT);: Аналогічно ці рядки
  встановлюють пінни d1 і d2 як виходи (OUTPUT). Зазвичай пінни d1 і d2
  використовуються для керування швидкістю двигуна 1. Встановлення їх в
  режим OUTPUT дозволяє відправляти сигнали для керування швидкістю
  двигуна (наприклад, зміна швидкості на високу, низьку або зупинка).
```

```
    pinMode(i1,OUTPUT);
    pinMode(i2,OUTPUT);
    pinMode(d1,OUTPUT);
    pinMode(d2,OUTPUT);
  }
```

```
void loop()
{
  digitalWrite(i1,HIGH);
  digitalWrite(i2,LOW);
  digitalWrite(d1,HIGH);
  digitalWrite(d2,LOW);
  delay(time);
```

```

digitalWrite(i1,LOW);
digitalWrite(i2,HIGH);
digitalWrite(d1,LOW);
digitalWrite(d2,HIGH);
delay(time);
digitalWrite(i1,HIGH);
digitalWrite(i2,LOW);
digitalWrite(d1,LOW);
digitalWrite(d2,LOW);
delay(time);
analogWrite(i1,127);
analogWrite(i2,0);
analogWrite(d1,127);
analogWrite(d2,0);
delay(time);
}

```

Вказаний вище фрагмент коду використовується для керування двигунами, підключеними до драйвера двигуна L298D, у визначеному порядку. Кожен рядок digitalWrite та analogWrite відправляє сигнал на певний пін, налаштований на вихід, і таким чином керує напрямком та швидкістю двигунів. Давайте подивимося, як це працює:

- digitalWrite(i1, HIGH); і digitalWrite(i2, LOW);: Ці рядки встановлюють пін i1 в HIGH (логічний рівень 1) та пін i2 в LOW (логічний рівень 0). Це може бути комбінація для встановлення напрямку руху двигуна 1 вперед.

- digitalWrite(d1, HIGH); і digitalWrite(d2, LOW);: Ці рядки встановлюють пін d1 в HIGH і пін d2 в LOW. Це може бути комбінація для встановлення швидкості двигуна 1 на максимальне значення.

- delay(time): Після встановлення напрямку та швидкості двигуна, програма затримується на проміжок часу, вказаний у змінному часі. Це може

бути використане для визначення тривалості роботи двигуна з певними параметрами.

Потім, аналогічні рядки виконуються для зміни напрямку та швидкості двигуна 1 (з урахуванням зміни напрямку в рядках `digitalWrite`) та для зупинки двигуна (шляхом встановлення всіх пінів у `LOW`). Цей фрагмент дозволяє створювати послідовності руху і управління двигунами, підключеними до драйвера L298D, з певними інтервалами часу між діями.

Проведемо моделювання роботи драйвера двигуна L298D, приклад успішної роботи поставлено на рис. 5.13.

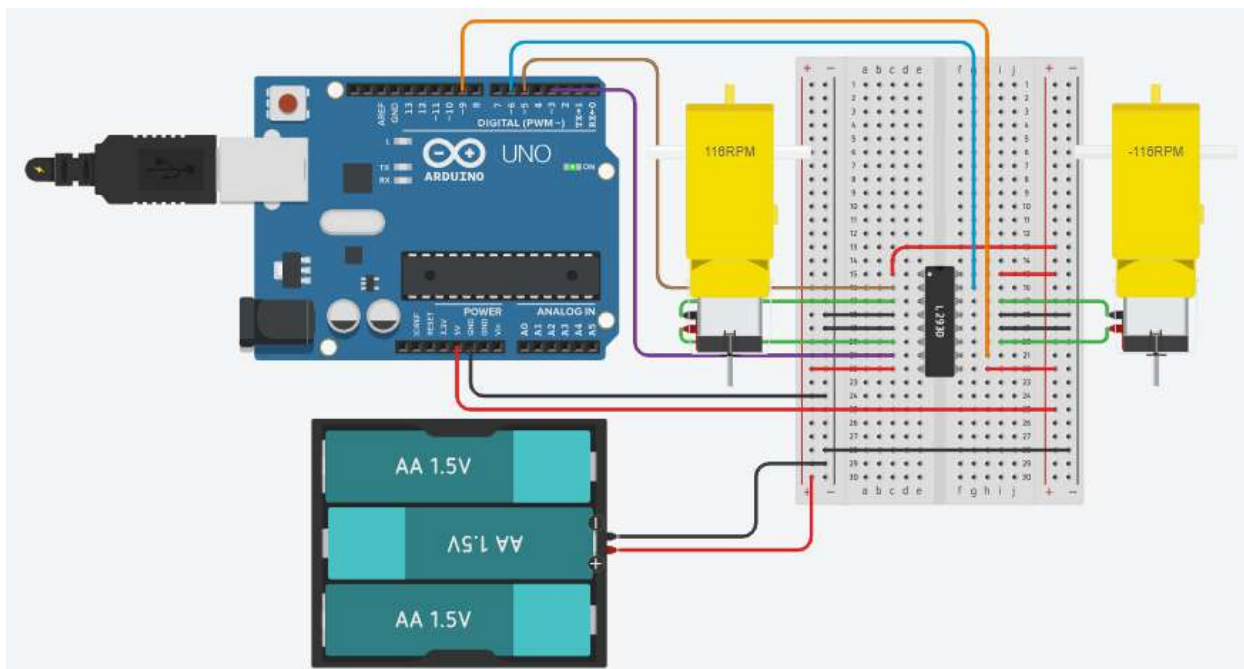


Рисунок 5.13 – Приклад моделювання роботи драйвера двигуна L298D.

Як можна бачити, що в запропонованій схемі (рис.5.13) двигуни DC 3V-6V, крутяться в різні боки (лівий двигун 116 RPM, а правий -116 RPM), внаслідок чого необхідно провести перепідключення правого двигуна (змінити полярність підключення), вдосконалена схема представлена на рис. 5.14.

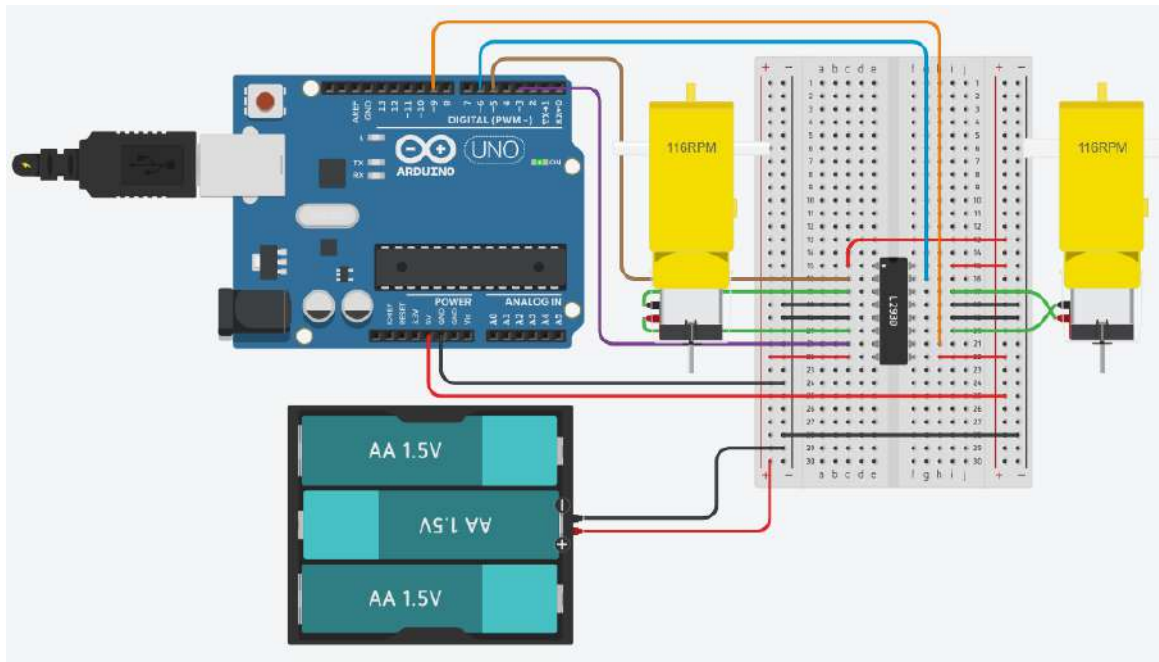


Рисунок 5.14 – Схема перепідключення правого двигуна

У результаті моделювання, була розроблена схема підключення драйвера двигуна L298D з розробкою програми управління, дане рішення є мінеральним для створення системи управління мобільним роботом в залежності від типу: колісна або гусенична база. Схема електрична принципова розробленої схеми (рис. 5.14) представлена на рис. 5.15.

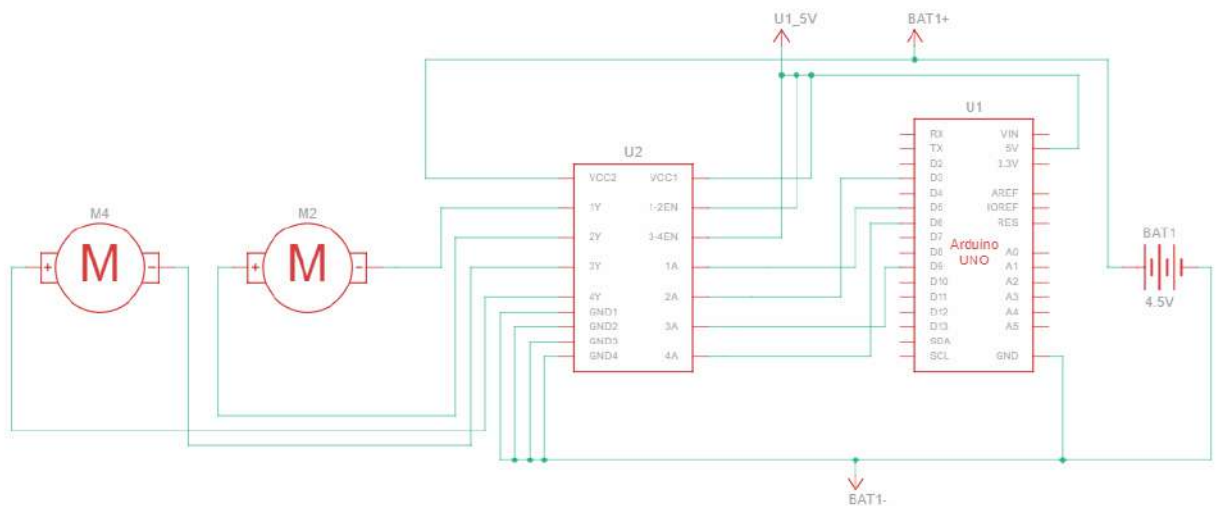


Рисунок 5.15 – Схема електрична принципова драйвера двигуна L298D

Для моделювання управління платформою 4WD (4 двигуни), зберемо на базі схеми 5.14, удосконалену збірку, як показано на рис. 5.16.

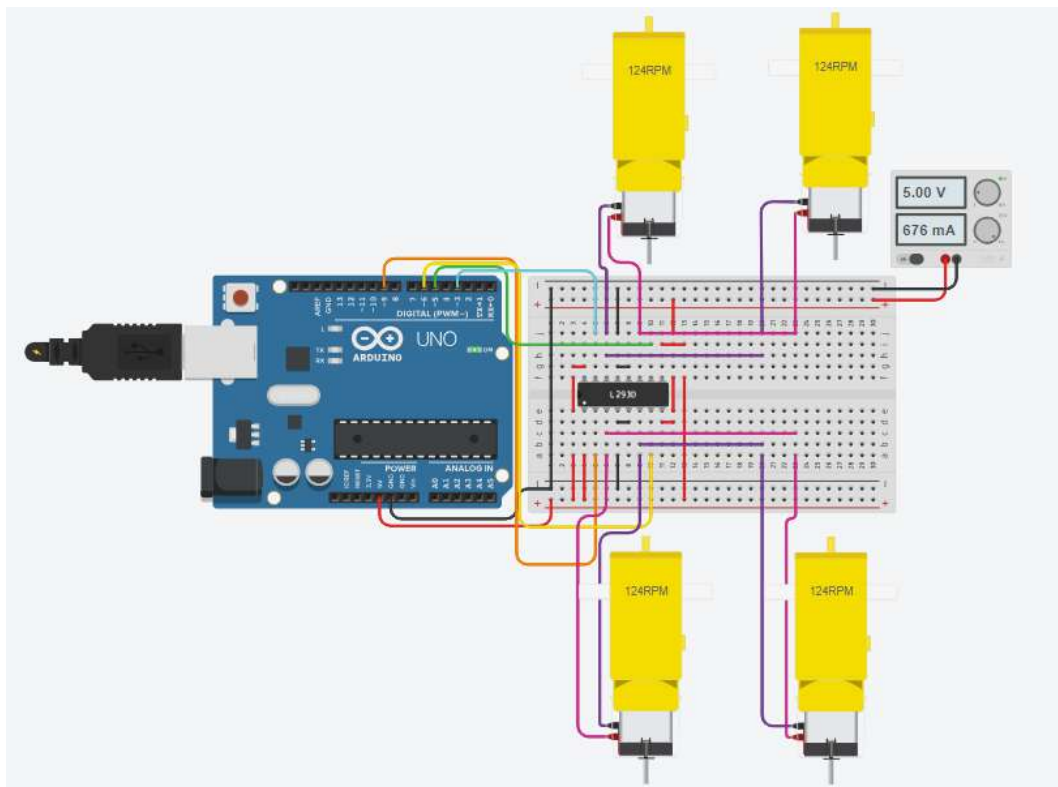


Рисунок 5.16 – Схема керування платформою 4WD на базі драйвера двигуна L298D

Схема електрична принципова представлена на рис. 5.17.

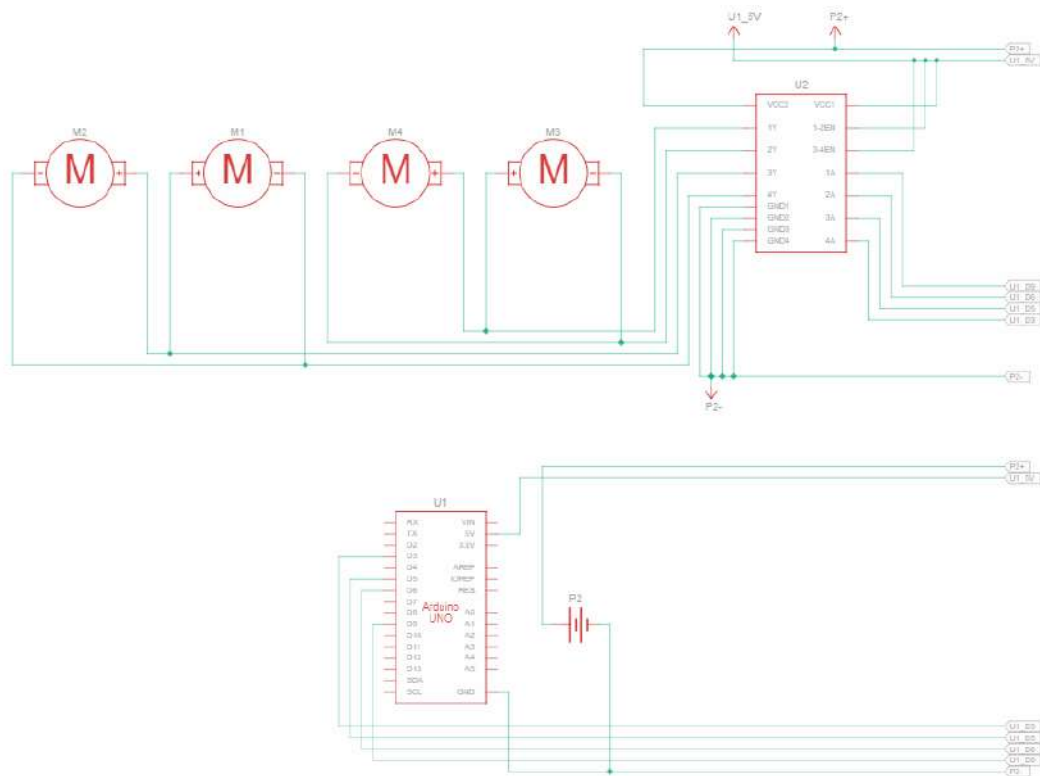


Рисунок 5.17 – Схема електрична принципова

5.4 Моделювання роботою серводвигуна 6CH RC SG90

Серводвигун 6CH RC SG90 – це маленький і популярний серводвигун, який часто використовується в радіокерованих моделях, робототехніці та інших проектах [152]. Ось деякі з його особливостей та принципів роботи:

- кут повороту: SG90 має обмежений кут повороту, зазвичай близько 180 градусів (хоча можуть бути варіанти з іншими кутами). Це означає, що серводвигун може обертатися лише межах зазначеного діапазону кутів;
- точність позиціонування: однією з ключових особливостей серводвигунів є їхня висока точність позиціонування. Вони можуть бути встановлені в конкретні кутові позиції, що робить їх ідеальними для завдань, що вимагають точного керування кутом повороту;
- керування: серводвигуни зазвичай управляються за допомогою імпульсних сигналів. Тривалість імпульсів визначає кут повороту. Наприклад, імпульс довжиною 1 мілісекунд може відповідати одному кутовому положенню, а імпульс довжиною 2 мілісекунди - іншому;

- зворотний зв'язок: Багато серводвигунів, включаючи SG90, мають зворотний зв'язок, який дозволяє контролеру або мікроконтролеру знати поточне положення серводвигуна. Це полегшує точне керування та позиціонування. Загальний вигляд серводвигуна SG90 представлений на рис. 5.18.

Мета даного дослідження за допомогою вбудованих функцій редактора «Circuits» середовища Autodesk Tinkercad, провести моделювання управління роботою серводвигуна SG90 (рис.5.18) з можливістю контролю кута повороту за допомогою потенціометра. Для цього зберемо схему моделювання, яка представлена на рис. 5.19.

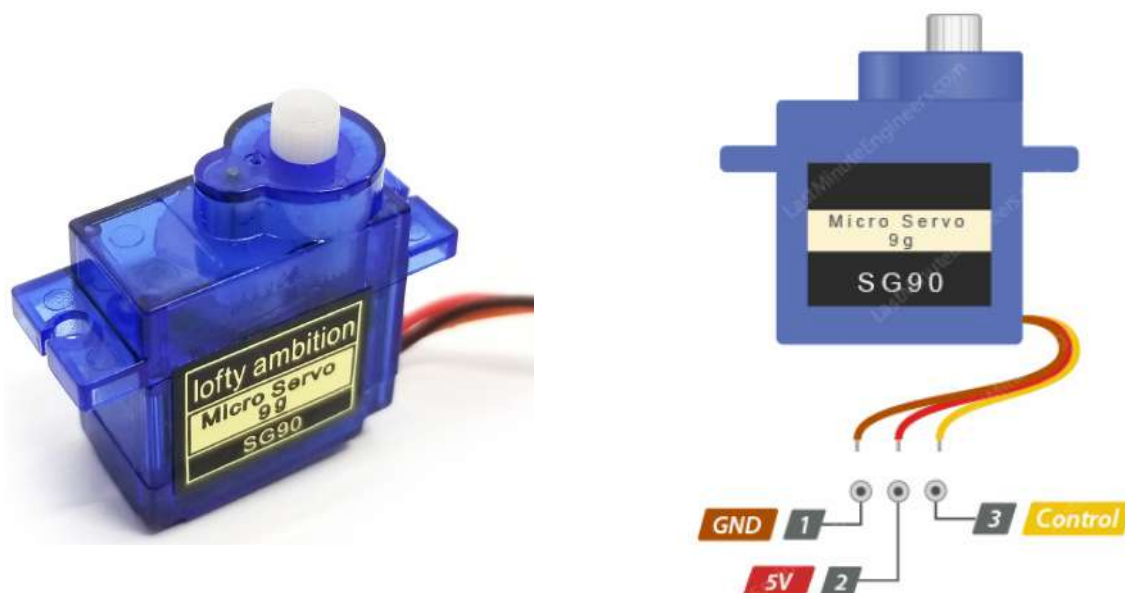


Рисунок 5.18 – Загальний вигляд серводвигуна SG90

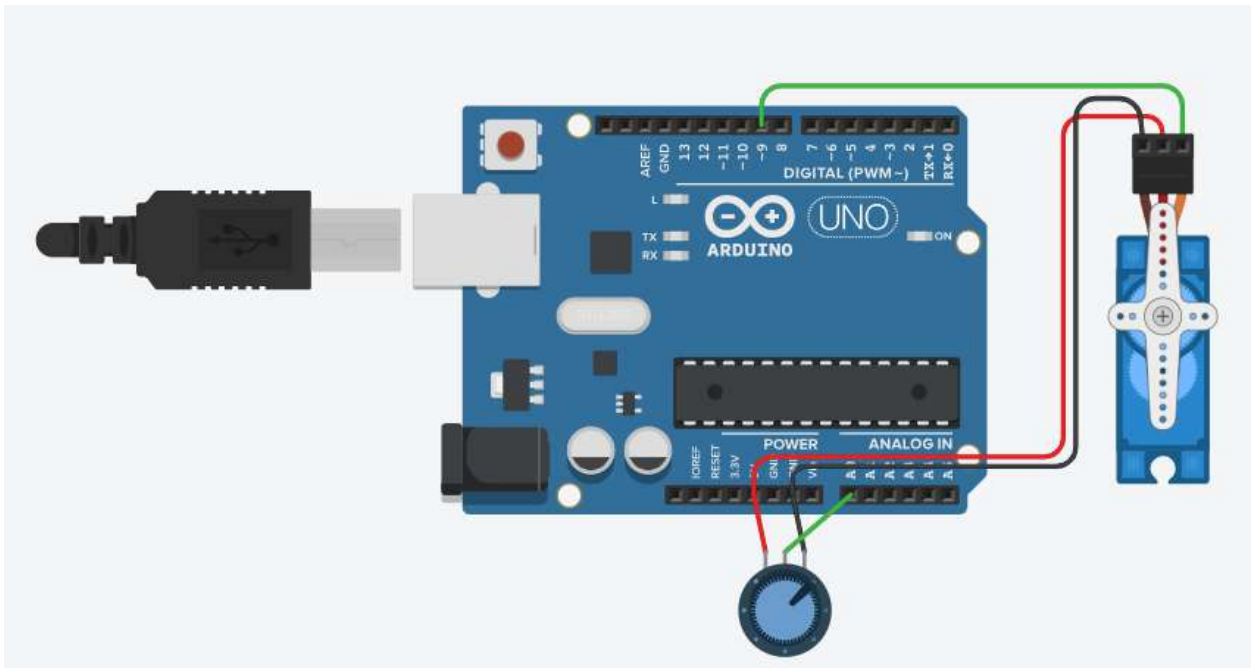


Рисунок 5.19 – Схема моделювання роботи серводвигуна SG90

Позначимо через червоні підключення живлення V_{cc} (+5V), а чорним відповідно Gnd (-). Зеленим підключимо цифровий пін управління серводвигуном до плати Arduino Uno (pin 9), а також для контролю кута повороту використовуватимемо аналоговий потенціометр. Підключення потенціометра здійснимо до аналогового входу (A0), а також підключимо червоним живлення V_{cc} (+5V), а чорним відповідно Gnd (-).

Для роботи зібраної схеми, необхідно розробити програму для мікроконтролера. Приклад програми управління наведено нижче:

```
#include <Servo.h>
#include <SoftwareSerial.h>
```

//Servo.h: Ця бібліотека використовується для керування серводвигунами за допомогою платформи Arduino. Вона дозволяє створювати об'єкти серводвигунів і встановлювати кут повороту сервоприводу з високою точністю. За допомогою цієї бібліотеки можна легко інтегрувати сервоприводи у ваші проекти та керувати ними за допомогою платформи Arduino.

SoftwareSerial.h: Ця бібліотека використовується для створення програмних послідовних портів (UART) на платах Arduino, які не мають вбудованих додаткових апаратних UART-портів. Це дозволяє встановлювати зв'язок через послідовний порт з іншими пристроями, такими як Bluetooth-модулі, GPS-приймачі та інші, навіть якщо у Arduino немає додаткових апаратних послідовних портів.

```
int pos = 0;
int sensorValue = 0;
int i = 0;
Servo servo_9;

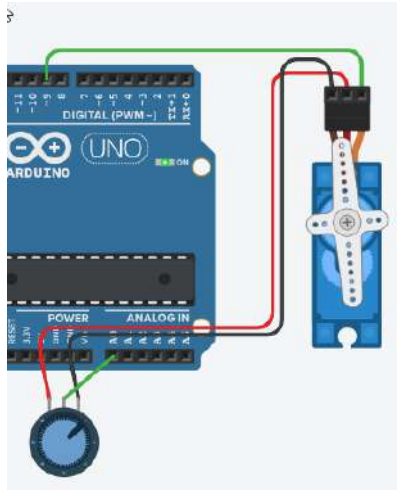
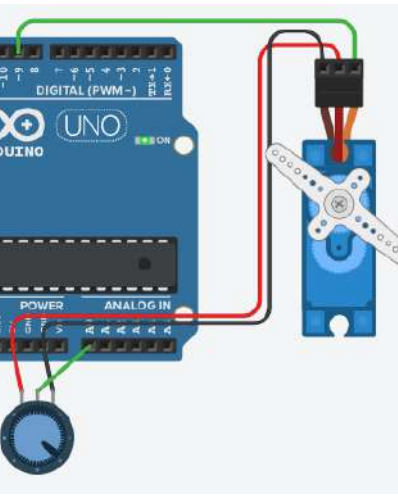
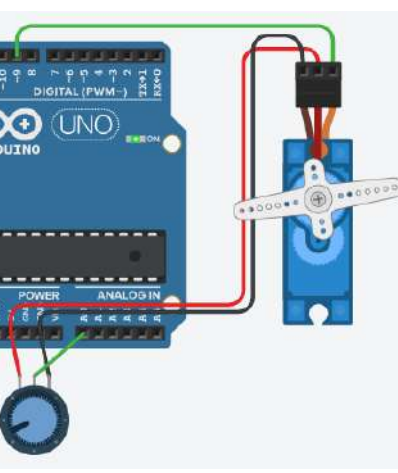
void setup()
{
  servo_9.attach(9);
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  sensorValue = analogRead(A0);
  pos = map(sensorValue,0,1023,0,180);
  Serial.print("sensorValue ");
  Serial.println(sensorValue);
  Serial.print("pos ");
  Serial.println(pos);
  for (i = 0; i <= pos; i++) {
    // tell servo to go to position in variable 'pos'
    servo_9.write(i);
    // wait 15 ms for servo to reach the position
```

```
    delay(15); // Wait for 15 millisecond(s)
  }
  for (i= pos; i >= 0; i --) {
    // tell servo to go to position in variable 'pos'
    servo_9.write(i);
    // wait 15 ms for servo to reach the position
    delay(15); // Wait for 15 millisecond(s)
  }
}
```

Проведемо моделювання розробленої схеми та програми управління кутами серводвигуна SG90. та подаємо результати у вигляді таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Результати моделювання розробленої схеми та програми управління кутами серводвигуна SG90

Установчий кут потенціометра та серводвигуна G90 SG90	Значення монітора порту
	<pre data-bbox="954 465 1406 981"> Serial Monitor pos 0 sensorValue 0 pos 0 sensorValue 0 pos 0 sensorValue 0 pos 0 sensorValue 0 pos 0 sensorValue 0 pos 0 sensorValue 0 pos 0 sensorValue 0 pos 0 sensorValue 0 pos 0 </pre>
	<pre data-bbox="954 1014 1406 1529"> Serial Monitor pos 57 sensorValue 327 pos 57 sensorValue 327 pos 57 sensorValue 327 pos 57 sensorValue 327 pos 57 sensorValue 327 pos 57 sensorValue 327 pos 57 sensorValue 327 pos 57 sensorValue 327 pos 57 </pre>
	<pre data-bbox="954 1563 1406 2056"> Serial Monitor pos 133 sensorValue 798 pos 140 sensorValue 839 pos 147 sensorValue 757 pos 133 sensorValue 757 pos 133 sensorValue 757 pos 133 sensorValue 757 pos 133 sensorValue 757 pos 133 sensorValue 757 pos 133 sensorValue 757 pos 133 </pre>

Як бачимо з проведеного експерименту моделювання, потенціометр дозволяє виставити серводвигун на заданий кут повороту. Схема електрична принципова важлива для даного експерименту наведена на рис. 5.20.

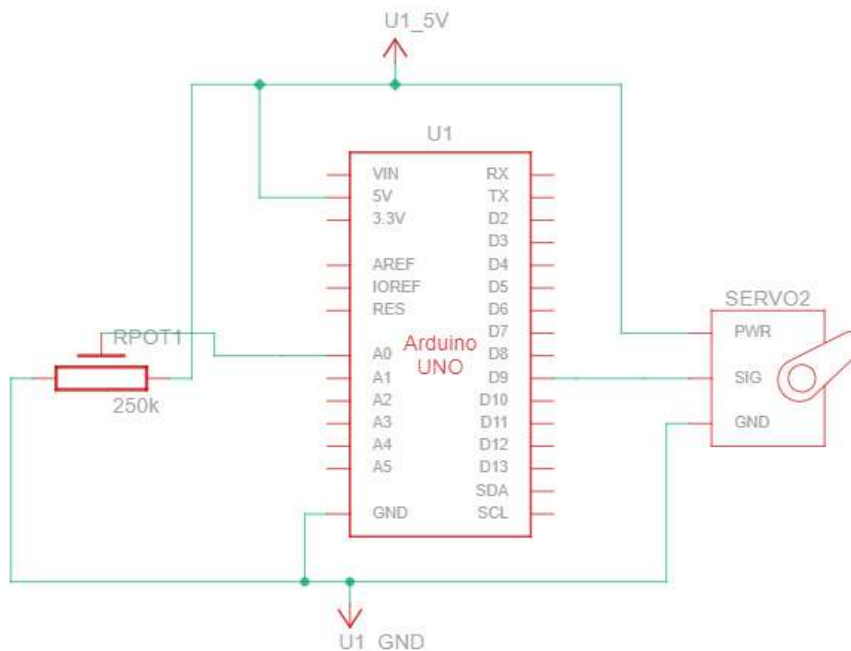


Рисунок 5.20 – Схема електрична принципова системи управління кутом повороту серводвигуна SG90

5.5 Питання до V розділу

1. Що таке Tinkercad Circuits, і які можливості ця платформа надає інженерам та розробникам?
2. Які переваги використання Tinkercad Circuits для моделювання та тестування електронних схем перед фізичним виготовленням прототипів?
3. Які основні компоненти та інструменти доступні в Tinkercad Circuits для створення електронних схем та симуляції їх роботи?
4. Як можна створити свою першу електронну схему в Tinkercad Circuits та які кроки для цього потрібно виконати?
5. Як в Tinkercad Circuits моделюються та тестуються компоненти, такі як резистори, діоди, транзистори та інші?

6. Яким чином можна створити та налаштувати мікроконтролери та мікросхеми в Tinkercad Circuits для симуляції їх роботи?
7. Як в Tinkercad Circuits моделюються сенсори та датчики, і як їх дані можна використовувати для взаємодії з іншими компонентами?
8. Які можливості має Tinkercad Circuits для спільної роботи та обміну проектами між користувачами та як це полегшує колективну розробку електронних пристроїв?
9. Як працює датчик HC-SR04, і які цільові параметри він вимірює?
10. Які основні компоненти датчика HC-SR04, і як вони взаємодіють для вимірювання відстані?
11. Як в Tinkercad Circuits можна створити модель датчика HC-SR04 для подальшої симуляції?
12. Яким чином налаштовується вхідний та вихідний сигнали для датчика HC-SR04 в середовищі моделювання?
13. Як визначається відстань до об'єкта за допомогою симуляції датчика HC-SR04 в Tinkercad Circuits?
14. Як можна змінювати параметри датчика HC-SR04 (наприклад, час очікування та максимальна відстань) у середовищі моделювання?
15. Як датчик HC-SR04 реагує на перешкоди, і як це можна відобразити в симуляції?
16. Яким чином результати симуляції роботи датчика HC-SR04 можна використовувати для подальшого проектування та тестування електронних систем з цим датчиком?
17. Як працює драйвер двигуна L298D, і які його основні функції в системі керування роботом?
18. Які компоненти складають драйвер L298D, і як вони взаємодіють для керування двигунами?
19. Як можна створити модель драйвера двигуна L298D для моделювання в середовищі Tinkercad Circuits?

20. Як встановлюються з'єднання та налаштовуються вхідні та вихідні сигнали для драйвера L298D у програмі для моделювання?
21. Яким чином можна визначити швидкість та напрямок обертання двигунів за допомогою симуляції драйвера L298D?
22. Якими параметрами можна керувати в симуляції драйвера L298D, і які вони впливають на рух двигунів?
23. Як драйвер L298D взаємодіє з двигунами при різних комбінаціях вхідних сигналів, і як це можна вивчити в середовищі Tinkercad?
24. Як результати симуляції драйвера L298D можуть бути корисними для реального проектування та програмування робототехнічних систем з використанням цього драйвера?
25. Як працює серводвигун 6CH RC SG90, і як він відрізняється від звичайних двигунів?
26. Які функції виконує серводвигун у системах робототехніки, і для яких завдань він найбільш підходить?
27. Як можна створити модель серводвигуна 6CH RC SG90 для моделювання в середовищі Tinkercad Circuits?
28. Як налаштовуються та контролюються кутові положення серводвигуна під час симуляції?
29. Які параметри та вхідні сигнали використовуються для керування серводвигуном і зміни його положення?
30. Як визначається точність та стабільність положення серводвигуна в ході симуляції?
31. Як серводвигун взаємодіє з іншими компонентами робототехнічної системи в середовищі Tinkercad?
32. Які можливості надає моделювання роботи серводвигуна для розробки та тестування робототехнічних пристроїв до їх фізичної реалізації?

ВИСНОВКИ

У цьому посібнику ми розглянули широкий спектр аспектів BEAM робототехніки, від її історії до практичної реалізації. Завдяки цьому матеріалу читачі отримали можливість поглибленого розуміння цієї цікавої галузі.

У першому розділі ми познайомилися із філософією та трьома законами BEAM робототехніки, а також вивчили концепцію мікроядра та розглянули класифікацію та порівняли цю технологію з класичними мобільними роботами.

В другому розділі розглянуто структурну та апаратне забезпечення BEAM роботів, детально розібралися із сенсорами, модулями та автономними джерелами живлення, а також вивчили роль логічних елементів у BEAM робототехніці.

У третьому розділі детально описано схемотехнічну реалізацію систем управління BEAM роботами, від простих сенсорних систем до складних алгоритмів обходу перешкод.

Четвертий розділ присвячений розгляду переваг використання мікроконтролерів сімейства ATmega для розробки мобільних роботів та навчилися розробляти програмне забезпечення для них на базі Arduino Nano.

У п'ятому розділі наведено моделювання електричних схем BEAM роботів у середовищі Tinkercad Circuits, що дозволяє вирішувати проблеми та тестувати концепції до фізичної реалізації.

Цей посібник відкриває перед читачами безмежні можливості у сфері BEAM робототехніки та надає знання та інструменти для того, щоб здійснити власні інноваційні проекти у цій захоплюючій галузі. Наші висновки дозволяють сподіватися на більш яскраве та технологічно розвинуте майбутнє робототехніки, де BEAM грає ключову роль.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Boya-Lara, C., Saavedra, D., Fehrenbach, A. et al. Development of a course based on BEAM robots to enhance STEM learning in electrical, electronic, and mechanical domains. *Int J Educ Technol High Educ* 19, 7 (2022). <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00311-9>
2. Barak, M., & Assal, M. (2018). Robotics and STEM learning: students' achievements in assignments according to the P3 Task Taxonomy—practice, problem solving, and projects. *International Journal of Technology and Design Education*, 28, 121–144. <https://doi.org/10.1007/s10798-016-9385-9>
3. Boya Lara, C., & Vega, M. (2020). A proposal to enhance STEM learning based on BEAM Robotics. *Publicaciones de La Facultad de Educacion y Humanidades Del Campus de Melilla*, <https://doi.org/10.30827/publicaciones.v50i4.17786>
4. Cox, A. M. (2021). Exploring the impact of artificial intelligence and robots on higher education through literature-based design fictions. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 18(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00237-8>
5. Tuluri, F. (2017). Robotics in STEM education: redesigning the learning experience. In M. S. Khine (Ed.), *Robotics in STEM education: redesigning the learning experience* (pp. 1–262). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57786-9>
6. H. Chai, C. So, P.F. Yuan. Manufacturing double-curved glulam with robotic band saw cutting technique. *Autom. Constr.*, 124 (4) (2021), Article 103571, 10.1016/j.autcon.2021.103571
7. Edward A. Rietman, Mark W. Tilden, Manor Askenazi. (2003). Analog computation with rings of quasiperiodic oscillators: the microdynamics of cognition in living machines. *Robotics and Autonomous Systems*. Volume 45, Issues 3–4, 31 December 2003, Pages 249-263. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2003.08.002>.

8. Trevelyan J. Redefining Robotics for the New Millennium. *The International Journal of Robotics Research*. 1999;18(12):1211-1223. doi:10.1177/02783649922067816
9. Cho, H., Gong, D., Lee, N. et al. Combined co-rotational beam/shell elements for fluid–structure interaction analysis of insect-like flapping wing. *Nonlinear Dyn* 97, 203–224 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11071-019-04966-y>
10. Kłapyta, Grzegorz. (2023). Mobile walking robot “GREG”: PBL project designed in accordance with BEAM philosophy. 15th International Workshop on Research and Education in Mechatronics (REM). P.1-5. DOI:10.1109/REM.2014.6920233
11. Sloman, A. (2008). Kantian Philosophy of Mathematics and Young Robots. In: Autexier, S., Campbell, J., Rubio, J., Sorge, V., Suzuki, M., Wiedijk, F. (eds) *Intelligent Computer Mathematics. CICM 2008. Lecture Notes in Computer Science()*, vol 5144. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-85110-3_45
12. (2005). Troubleshooting Your Robosapien. In: *The Robosapien Companion*. Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4302-0056-7_14
13. Isaac Asimov. I, Robot. Available: <https://www.amazon.com/I-Robot-Isaac-Asimov/dp/0553294385>
14. McCauley, L. AI Armageddon and the Three Laws of Robotics. *Ethics Inf Technol* 9, 153–164 (2007). <https://doi.org/10.1007/s10676-007-9138-2>
15. R. Murphy, David D. *Machine Ethics and Robot Ethics Woods* (Chapter) *Beyond Asimov: The Three Laws of Responsible Robotics*. 2017. Pages 7.
16. Gurjeet Singh, V.K. Banga. (2022). Robots and its types for industrial applications. *Materialstoday Proceedings*. Volume 60, Part 3, Pages 1779-1786. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.426>
17. Compute! Magazine Issue 011. Available: <https://archive.org/details/1981-04-compute-magazine>
18. Anastasia K. Ostrowski; Raechel Walker; Madhurima Das; Maria Yang; Cynthia Breazea; Hae Won Park; Aditi Verma. (2022). *Ethics, Equity, & Justice in*

Human-Robot Interaction: A Review and Future Directions. In 31st IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN). Conference Location: Napoli, Italy. DOI: 10.1109/RO-MAN53752.2022.9900805

19. Raj, Ravi, and Andrzej Kos. 2022. "A Comprehensive Study of Mobile Robot: History, Developments, Applications, and Future Research Perspectives" *Applied Sciences* 12, no. 14: 6951. <https://doi.org/10.3390/app12146951>

20. Habibian, S.; Dadvar, M.; Peykari, B.; Hosseini, A.; Salehzadeh, M.H.; Hosseini, A.H.; Najafi, F. Design and implementation of a maxi-sized mobile robot (Karo) for rescue missions. *Robomech J.* 2021, 8, 1.

21. Valentino Braitenberg "Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology", A Bradford Book/The MIT Press, 1984

22. Pratheesh Kumar, S., Dinesh, R., Raja, V., Karthikeyan, S. (2023). Study and Development of Remote Control Appliances in DailyLife. In: Natarajan, E., Vinodh, S., Rajkumar, V. (eds) *Materials, Design and Manufacturing for Sustainable Environment. Lecture Notes in Mechanical Engineering.* Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3053-9_18

23. B. Hasslacher, M. Tilden, *Theoretical Foundations of Nervous Networks, Applied Nonlinear Dynamics and Stochastic Systems Near the Millennium*, AIP Conference Proceedings, volume 411, p. 179-184, May 1997. DOI 10.1063/1.54209

24. Anita M. Turner, William T. Greenough. (1985). Differential rearing effects on rat visual cortex synapses. I. Synaptic and neuronal density and synapses per neuron. *Brain Research.* Volume 329, Issues 1–2, 11 March 1985, Pages 195-203. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(85\)90525-6](https://doi.org/10.1016/0006-8993(85)90525-6)

25. László Juhász, M.Sc. *Control Of A Hybrid Micropositioning System For Use In Industry And Robotics.* (Ph.D. Thesis). Novi Sad, June 2011. P.202

26. Rahmatullah Ibrahim Nuruddeen, J.F. Gómez-Aguilar, Abdulaziz Garba Ahmad, Khalid K. Ali. (2022). Investigating the dynamics of Hilfer fractional

operator associated with certain electric circuit models. Circuit Theory and Applications. <https://doi.org/10.1002/cta.3293>

27. Hexbug. Available: <https://www.hexbug.com/nano.html>

28. ROBOTS, ROBOTICS and AUTOMATION. Available: <https://www.talkingelectronics.com/projects/Robots/Page1.html>

29. Khan, H., Khatoon, S., Gaur, P. et al. Speed control comparison of wheeled mobile robot by ANFIS, Fuzzy and PID controllers. Int. j. inf. tecnol. 14, 1893–1899 (2022). <https://doi.org/10.1007/s41870-022-00862-8>

30. Ardest DIY Programmable 2WD Smart Robot. Available: <https://www.amazon.com/Programmable-Chassis-Encoder-Robotics-Electronics/dp/B01N7KJIW4>

31. Robot Kit 4WD Robot Car Smart Chassis Kit with 4 TT Motor. Available: <https://www.amazon.com/Robot-Chassis-Motor-Arduino>

32. UUK Smart 6WD Robot Car Metal Chassis Platform Kit. Available: <https://www.amazon.co.uk/UUK-Platform-Cross-Country-Absorption-Raspberry/dp/B08P7N8X82>

33. Robot Tank Tracked Chassis Kit For Arduino. Available: <https://www.auselectronicdirect.com.au/robot-tank-tracked-chassis-kit-for-arduino>

34. Premium Large Metal 4WD Shock Absorption Robot Tank Car. Available: <https://www.amazon.com/Premium-Absorption-Raspberry-MicroBit-Absorbing/dp/B09CYDB8H4?th=1>

35. Двигатель с редуктором 1:48 DC 3V-6V. Available: <https://myproject.com.ua/dvigatel-s-reduktorom-148-dc3v-6v-ru.html>

36. Двигун постійного струму Sodfunt Co 3-6V. Available: <https://rozetka.com.ua/241503985/p241503985/>

37. DC motor 300FZ-12350 (1,5-9V) 6V 7500 rpm. Available: <https://prom.ua/p1714985344-motor-300fz-12350.html>

38. N60 3V-6V 26000RPM 12mm Cylinder Motor RC. Available: <https://www.ebay.co.uk/itm/265322061998>

39. Двигун Кроковий з редуктором 28byj-48 і платою ULN2003. Available: <https://m-teh.com.ua/dvigun-krokoviy-z-reduktorom-28byj-48-i-platou-uln2003/>
40. Кроковий двигун 17HS4023 1.0a 0.42NM Titan (16591). Available: <https://beegreen.com.ua/krokovij-dvigun-17hs4023-10a-042nm-titan-16591>
41. Інкрементальний енкодер EC11 360 градусів 15мм. Available: <https://arduinka.biz.ua/uk/inkrementalniy-enkoder-ec11-360-gradusiv-15mm-p796c74.html>
42. Датчик обертання енкодер KY-040. Available: https://geekmatic.in.ua/ua/encoder_ky-040
43. Модуль с енкодером. Available: <https://xcraft.com.ua/modul-s-enkoderom>
44. Драйвер двигателя 2-кан Н-мост MX1508, L298N Mini для Arduino. Available: <https://rozetka.com.ua/193010252/p193010252/>
45. Ардуино L298N драйвер двигателей. Available: <https://arduinomania.in.ua/arduino-l298n-drajver-dvigatelej-ua>
46. Hayder Jasim Habil; Q. A. Al-Jarwany; Majli Nema Hawas; Mohannad Jabbar Mnati. Raspberry Pi 4 and Python Based on Speed and Direction of DC Motor. In 4th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM). Conference Location: Nevsehir, Turkey. DOI: 10.1109/GPECOM55404.2022.9815716.
47. l293, l293d quadruple half-h drivers. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/l293.pdf>
48. ESP32 Wi-Fi & Bluetooth MCU I Espressif Systems. Available: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
49. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906

50. Santos, Luís, Tiago Costa, João M. L. P. Caldeira, and Vasco N. G. J. Soares. 2022. "Performance Assessment of ESP8266 Wireless Mesh Networks" *Information* 13, no. 5: 210. <https://doi.org/10.3390/info13050210>
51. Yustinus Bagus Arisotya; A. Bayu Primawan; Djoko Untoro Suwarno. (2022). Dual Axis Solar Tracker With Fuzzy Logic Method. Conference Location: Yogyakarta, Indonesia. DOI: 10.1109/ICIEE55596.2022.10010188
52. I Wayan Suriana, I Wayan Sugarayasa. (2022). Rancang Bangun Sistem Kontrol Pembangkit Hybrid (PLN-Solar Cell) Berbasis Wemos D1 Mini Esp8266. *Jartika*. Vol. 5 No. 2.
53. Arduino. Available: <https://www.arduino.cc/>
54. Hani Al-Mimi1, Ali Al-Dahoud, Mohamed FEZARI, Mohammad Sh. Daoud. (2020). A Study on New Arduino NANO Board for WSN and IoT Applications. *International Journal of Advanced Science and Technology* Vol. 29, No. 4, (2020), pp.10223 – 10230.
55. Ivana Maretha Siregar, Nancy Florida Siagian, Victor Marudut Mulia Siregar. (2022). A Design of an Electric Light Control Device Using Arduino Uno Microcontroller-Based Short Message Service. Vol. 2 No. 2 (2022): Volume 2, Issue 2. DOI: <https://doi.org/10.31763/iota.v2i2.560>
56. Ega Indriawan, Tonny Suhendra, Hollanda Arief Kusuma. (2022). *Konsumsi Arus Arduino Pro Mini*. Vol. 3 No. 1.
57. Muhammad Dermawan, Selamat Meliala. (2022). Design Traffic Light of HCSR04 Sensor Fuzzy Logic Method Based on Arduino Mega 2560. *International Journal of Engineering, Science and Information Technology (IJESTY)*, Vol 2, No 4. DOI: <https://doi.org/10.52088/ijesty.v2i4.386>
58. STM32 32-bit Arm Cortex MCUs. Available: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>

59. Ya-sine Agrignan; Shanglin Zhou; Jun Bai; Sahidul Islam; Sheida Nabavi; Mimi Xie; Caiwen Ding. (2023). A Deep Learning Approach for Ventricular Arrhythmias Classification using Microcontroller. In 24th International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED). Conference Location: San Francisco, CA, USA. DOI: 10.1109/ISQED57927.2023.10129313
60. NUCLEO-F030R8. Available: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f030r8.html>
61. STM32F103C8 - Mainstream Performance line, Arm Cortex. Available: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html>
62. NUCLEO-F042K6. Available: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f042k6.html>
63. Bell, C. (2022). Introducing the Raspberry Pi Pico. In: Beginning MicroPython with the Raspberry Pi Pico. Maker Innovations Series. Apress, Berkeley, CA. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-8135-2_1
64. Raspberry Pi Pico RP2040. Available: <https://www.adafruit.com/product/4864>
65. Raspberry Pi Pico W. Available: <https://www.adafruit.com/product/5526>
66. Binxiang Xu, Seong Young Ko. (2020). Novel force sensing module for a concentric tube-based vitreoretinal surgical robot. Sensors and Actuators A: Physical. Volume 316, 1, 112395. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2020.112395>
67. FC-51 IR Sensor. Available: <https://www.pinterest.com/pin/672443788104123266/>
68. Obstacle avoidance sensor module InfraRed IR-08H. Available: <https://www.eitkw.com/product/obstacle-avoidance-sensor-module-infrared-ir-08h/>
69. Waveshare Інфрачервоний відбиваючий Датчик. Available: <https://prom.ua/p1158438309-waveshare-infrachervonij-vidbivayuchij.html>

70. Модуль датчика інфрачервоного випромінювання KY-005. Available: <https://starcom.com.ua/modul-datchika-infrachervonogo-viprominuvannya-ky-005/>
71. US-015 Ultrasonic Distance Sensor Module. Available: <https://www.addicore.com/products/us-015-ultrasonic-distance-sensor-module>
72. Ultrasonic Distance Sensor - HC-SR04 (5V) - SEN-15569. Available: <https://www.sparkfun.com/products/15569>
73. Ultrasonic Sensors NU40C12T/R-1. Available: http://jinci.m.en.frbiz.com/group-ultrasonic_sensor_transmitter/28214885-ultrasonic_sensors_nu40c12t_r_1.html
74. Waterproof JSN-SR04T Ultrasonic Distance Sensor. Available: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-jsn-sr04t.html>
75. Adafruit VL6180X. Available: <https://www.adafruit.com/product/3316>
76. TFmini S Uart Benewake. Available: <https://www.mouser.com/ProductDetail/Benewake/TFmini-S-Uart?qs=DPoM0jnrROXBvfO6mWli6w%3D%3D>
77. V153L0X Laser Rangefinder. Available: <https://makersportal.com/shop/v153l0x-laser-rangefinder-005m-22m-working-range>
78. Benewake TF02 / TF03 lidar/ TF-Luna. Available: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-benewake-tf02-lidar.html>
79. GY-521 MPU6050 3-Axis Gyroscope and Accelerometer IMU. Available: <https://www.addicore.com/products/gy-521-mpu6050-3-axis-gyroscope-and-accelerometer-imu>
80. BMI160 Small. Available: https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/product_flyer/bst-bmi160-fl000.pdf
81. MAX4466 Datasheet and Product Info. Available: <https://www.analog.com/en/products/max4466.html>

82. KY-037 High Sensitivity Sound Detection Module. Available: <https://arduinomodules.info/ky-037-high-sensitivity-sound-detection-module/>
83. Датчик лінії KY-033 / HW-511. Available: <https://www.k206.net/ua/catalog/515/22875/>
84. TCRT5000 Infrared Reflective Sensor. Available: <https://www.instructables.com/TCRT5000-Infrared-Reflective-Sensor-How-It-Works-a/>
85. Interfacing GY-31 TCS3200 Color Sensor Module. Available: <https://electropeak.com/learn/interfacing-gy-31-tcs3200-color-sensor-module-with-arduino/>
86. RGB Color Sensor with IR filter and White LED - TCS34725. Available: <https://www.adafruit.com/product/1334>
87. BH1750 Ambient Light Sensor. Available: <https://esphome.io/components/sensor/bh1750.html>
88. TEMT6000. Available: <https://devices.esphome.io/devices/temt6000>
89. Модуль Датчик освітлення (для Arduino). Available: <https://rozetka.com.ua/ua/umnie-datchiki/c4638399/tip-detektirovaniya=osveshchennost/>
90. KY-028 Digital Temperature Sensor Module. Available: <https://arduinomodules.info/ky-028-digital-temperature-sensor-module/>
91. FIBARO Temperature Sensor DS (Z-Wave). Available: <https://www.easygates.co.uk/product/fibaro-temperature-sensor-ds-z-wave/>
92. DHT11 Humidity & Temperature Sensor. Available: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>
93. LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
94. Гігрометр датчик вологості ґрунту модуль Arduino. Available: <http://beegreen.com.ua/gigrometr-datchik-vologosti-gruntu-modul-arduino-10943>

95. AHT10 Temperature+Humidity Sensor. Available: <https://esphome.io/components/sensor/aht10.html>
96. NEO 6M Dual Antenna SMA/IPEX GPS Module. Available: <https://www.aideepen.com/products/neo-6m-dual-antenna-sma-ipex-gps-module-eeprom-satellite-positioning-microcontroller-scm-mcu-development-board-for-arduino>
97. NEO-7M SATELLITE POSITIONING GPS MODULE. Available: <https://ifuturetech.org/product/neo-7m-satellite-positioning-gps-module-with-micro-usb/>
98. SIM800L GSM / GRPS module. Available: <https://nettigo.eu/products/sim800l-gsm-grps-module>
99. SIM900A GSM Module. Available: <https://microcontrollerslab.com/sim900a-gsm-module-pinout-examples-applications-datasheet/>
100. DSD TECH HM-10 Bluetooth 4.0 BLE. Available: <https://www.amazon.com/DSD-TECH-Bluetooth-iBeacon-Arduino/dp/B06WGZB2N4>
101. ESP-01 WiFi Module. Available: <https://www.microchip.ua/wireless/esp01.pdf>
102. ESP-05 - WiFi module with ESP8266 without antenna. Available: <https://kamami.pl/en/wifi-modules/559419-esp-05-wifi-module-with-esp8266-without-antenna.html>
103. DSD TECH HM-10 Bluetooth 4.0 BLE iBeacon. Available: <https://www.amazon.com/DSD-TECH-Bluetooth-iBeacon-Arduino/dp/B06WGZB2N4>
104. ЦАП АЦП PCF8591. Available: <http://beegreen.com.ua/cap-acp-pcf8591-modul-z-datchikami-8-b%D1%96t-15049>
105. ADS1115 16-Bit ADC 4 Channel. Available: <https://www.addicore.com/products/ads1115-16-bit-adc-4-channel>

106. PCM5102 DAC I2S Interface Decoder Sound Card. Available: <https://www.amazon.com/PCM5102-Interface-Decoder-GY-PCM5102-Raspberry/dp/B07KFC1YTD>
107. 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC). Available: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf
108. INA219 data sheet, product information and support. Available: <https://www.ti.com/product/INA219>
109. INA3221 data sheet, product information and support. Available: <https://www.ti.com/product/INA3221>
110. Модуль 51 AVR 2 реле 12V з опторозв'язкою. Available: <http://new.voron.ua/uk/catalog/042287>
111. Relay Module 1 x 5V. Available: <https://protosupplies.com/product/relay-module-5v-x-1/>
112. IRF520 MOSFET Driver Module. Available: <https://hobbycomponents.com/motor-drivers/661-irf520-mosfet-driver-module>
113. 1PCS NEW 5V 1-Channel SSR G3MB-202P Solid State Relay Fuse Module. Available: https://www.ebay.com/itm/1PCS-NEW-5V-1-Channel-SSR-G3MB-202P-Solid-State-Relay-Fuse-Module-/173897187737?_ul=IL
114. TXS0108E data sheet, product information and support. Available: <https://www.ti.com/product/TXS0108E>
115. TLP281-4 | Isolators/Solid State Relays | Asia-English. Available: <https://toshiba.semicon-storage.com/ap-en/semiconductor/product/isolators-solid-state-relays/detail.TLP281-4.html>
116. 8-канальний двоспрямований перетворювач логічних ... Available: <https://ardi.in.ua/ua/p737018892-kanalnyj-dvunapravlenyj-preobrazovatel.html>
117. 8-канальний двонаправлений перетворювач рівнів 3.3 / 5В на мікросхемі TXS0108E. Available: <https://arduino.ua/prod1702-8-kanalnii-dvynapravlenii-preobrazovatel-yrovnei-3-35v-na-mikrosHEME-txs0108e>
118. Microstepping Driver With Translator. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/A3967.pdf>

119. Adafruit 16-Channel 12-bit PWM/Servo Driver. Available: <https://www.adafruit.com/product/815>
120. DRV8833 Dual H-Bridge Motor Driver datasheet. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8833.pdf>
121. L298_H_Bridge. Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf
122. DS1302 Real Time Clock Module. Available: <https://www.parallax.com/product/ds1302-real-time-clock-module/>
123. Adafruit DS1307 Real Time Clock Assembled Breakout. Available: <https://www.adafruit.com/product/3296>
124. DS3231 Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/DS3231.pdf>
125. 5V 1W Round Solar Panel. Available: <https://www.wsl-solar.com/5V-1W-OEM-Solar-Panel.html>
126. Sunnytech 0.5w 5v 100ma Mini Small Solar Panel Module. Available: <https://www.amazon.com/Sunnytech-100ma-Module-Polysilicon-Charger/dp/B008J9BZIA>
127. TP4056: Your Essential guide to the LiPo Battery Charger IC. Available: <https://www.best-microcontroller-projects.com/tp4056.html>
128. GL5528 LDR Resistor Light-Dependent Photoresistor. Available: <https://juriedengineering.com/products/gl5516-photo-light-sensitive-resistor-photoresistor-5517>
129. KY-018 Photoresistor Module. Available: <https://arduinomodules.info/ky-018-photoresistor-module/>
130. C. I. Lewis. Implication and the Algebra of Logic. Vol. 21, No. 84 (Oct., 1912), pp. 522-531 (10 pages). <https://www.jstor.org/stable/2249157>
131. Mattson C and Brown D. Leveraging Human Feedback to Evolve and Discover Novel Emergent Behaviors in Robot Swarms. Proceedings of the Genetic

- and Evolutionary Computation Conference. (56-64).
<https://doi.org/10.1145/3583131.3590443>
132. Light Dependent Resistor Poster. Available:
<https://fineartamerica.com/featured/light-dependent-resistor-science-photo-library.html?product=poster>
133. GL5516 LDR Resistor Light-Dependent Photoresistor. Available:
<https://juriedengineering.com/products/gl5516-photo-light-sensitive-resistor-photoresistor-5516>
134. SFH 2500 FA-Z, ams OSRAM – Photodiodes. Available:
<https://www.enrgtech.co.uk/product/photodiodes/ET22804566/SFH-2500-FA-Z>
135. TSTS7100 Infrared Emitters. Available:
<https://www.vishay.com/en/product/81047/>
136. ATmega8. Available: <https://www.microchip.com/en-us/product/atmega8>
137. TSOP1136. Datasheet - Vishay Semiconductors. Available:
<https://www.mouser.com/ProductDetail/Vishay-Semiconductors/TSOP1136?qs=oNDV51lhjEMKSBF3DLrz3g%3D%3D>
138. Arduino. Available: <https://www.arduino.cc/>
139. Arduino Uno Rev3. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
140. Nano | Arduino Documentation. Available:
<https://docs.arduino.cc/hardware/nano>
141. Mega 2560 Rev3 | Arduino Documentation. Available:
<https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>
142. Arduino Pro Mini | Arduino Documentation. Available:
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini>
143. Micro. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/micro>
144. JGA25-370 Geared motor DC motor 6V 12V. Available:
<https://www.electric-b2c.com/products/jga25-370-geared-motor-dc-motor-6v-12v-electric-gear-motor-high-torque-5-10-15-30-60-100-150-200-300-400-500-1000-1200-rpm>

145. 3S 12v 10A 18650 Li-ion Battery Protection Board BMS. Available: <https://hackspark.fr/en/power-and-energy/1959-3s-12v-10a-18650-li-ion-battery-protection-board-bms-pcm-hx-3s-01.html>
146. XL4005 Step-Down Adjustable DC-DC Switching Buck. Available: <https://www.addicore.com/products/xl4005-step-down-adjustable-dc-dc-switching-buck-converter>
147. Interface L298N DC Motor Driver Module. Available: <https://lastminuteengineers.com/l298n-dc-stepper-driver-arduino-tutorial/>
148. Circuits – Tinkercad. Available: <https://www.tinkercad.com/circuits>
149. Arduino IDE 2.1 is now available!. Available: <https://blog.arduino.cc/2023/04/21/arduino-ide-2-1-is-now-available/>
150. Ultrasonic Ranging Module HC - SR04. <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
151. L298 - Dual Full Bridge Driver. Available: <https://www.st.com/en/motor-drivers/l298.html>
152. SG90 9G Micro Servo Motor For Robot. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/SG90-9G-Micro-Servo-Motor-For_1600259870456.html

Навчальне видання

І.Ш. Невлюдов, В.В.Євсєєв,
С.С.Максимова

ВЕАМ робототехніка

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



Комп'ютерна верстка Н.К. Ляшова


В авторській редакції

Підписано до друку 05.01.2024 р.
Формат 64x90 1/16. Друк цифровий.
Об'єм 13,75 ум.друк.арк.
Тираж 1000 екз.

Видавець Чернявський Д.О.
пр. 200 річчя Кривого Рога, 17, (зуп. «Спаська»),
Свідоцтво ДК 3449 від 02.04.2009 р.

 [oktanua](#)  [oktanua](#)  oktanprint@ukr.net

 +38 (067) 46-46-102 

 [oktanprint.com.ua](#); [oktanshop.com](#); [oktanprint.cz](#)

ДРУКАРНЯ  ОКТАН-ПРИНТ