

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії  
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

ЗАСТОСУВАННЯ СЕНСОРІВ В РОБОТОТЕХНІЦІ  
(тема)

Виконав:  
студент 4 курсу, групи МНТМН-21-1  
Гудиря Я.І.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 153 Мікро- та наносистемна техніка  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Мікро- та наноелектроніка  
( повна назва освітньої програми)

Керівник Карнаушенко В.П.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Бондаренко І. М.  
(прізвище, ініціали)

2025 р.

## Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Електронної та біомедичної інженерії \_\_\_\_\_  
 Кафедра \_\_\_\_\_ Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв \_\_\_\_\_  
 Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_  
 Спеціальність \_\_\_\_\_ 153 Мікро- та наносистемна техніка \_\_\_\_\_  
 (код і повна назва)  
 Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
 Освітня програма \_\_\_\_\_ «Мікро- та наноелектроніка» \_\_\_\_\_  
 (повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
 (підпис)  
 « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові \_\_\_\_\_ Гудирі Ярославу Ігоровичу \_\_\_\_\_  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Застосування сенсорів в робототехніці» \_\_\_\_\_  
 затверджена наказом університету від 26 05 2025 р. № 414СТ
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 5 06 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: напруга живлення - 12 В, робоча частота – 10...20 МГц, вимірювання тиску 0...2 атм, прискорення 0...10 м/с, відстані 0...5 м.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
  - 1) Аналітичний огляд
  - 2) Розробка мікро приводу із застосуванням САПР
  - 3) Конструкторська частина
5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) \_\_\_\_\_  
Схема електрична принципова, схема монтажна, друкована плата  
Слайди

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по ба- тькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	20.04.2024	
2	Огляд інформаційних джерел	1.05-10.05	
3	Створення проекту за допомогою САПР	10.05-15.05	
4	Розробка конструкції пристрою	15.05-25.05	
5	Пояснювальна записка	25.05-30.05	
6	Підготовка презентації	1.06-2.06	
7	Рецензування, нормконтроль	2.06-5.06	
8	Здача роботи на кафедрі	8.06.2024	

Дата видачі завдання 20 квітня 2025р.



Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Карнаушенко В.П.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи складає: 36 сторінок, 17 рисунків, 8 джерел, 6 додатків.

### РОБОТ, КОБОТ, СЕНСОР, ПЕРЕТВОРЮВАЧ, КОНТРОЛЕР

Об'єкт дослідження – системи контролю параметрів роботів

Метод дослідження – аналітичний.

Мета роботи – метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження концепцій розвитку робото технічних систем з огляду на безпеку співпраці системи людина – робот.

Актуальність теми: поширення робото технічних систем потребує підвищеної уваги до безпеки в промисловості.

## ABSTRACT

The explanatory note to the qualification paper consists of: 36 pages, 17 figure, 8 sources, 6 appendices.

### ROBOT, COBOT, SENSOR, TRANSDUCER, CONTROLLER

Object of research – robot parameter control systems

Research method – analytical.

Purpose of work – The purpose of this qualification work is to study the concepts of developing robotic systems with regard to the safety of human-robot cooperation.

Relevance of the topic: The spread of robotic systems requires increased attention to safety in industry.

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Типи сенсорів, що застосовуються в робототехніці	11
1.2 Еволюція систем розумного дому	14
2 РОЗРОБКА РІДСИСТЕМИ РОБОТА	20
2.1 Розробка структури мультисенсорної підсистеми для роботи	28
ВИСНОВКИ	35
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	36
ДОДАТКИ	37

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

VAX – вольт-амперна характеристика;

MEMS – мікро електромеханічні системи;

IoT – інтернет речі;

AI – штучний інтелект;

CAD і EDA – системи автоматизованого проєктування;

I<sup>2</sup>C , LIN, SPI – інтерфейси зв'язку;

LiDAR – технологія тривимірного профілювання;

ML – машинне навчання;

RaDAR – радіохвильова технологія контролю об'єктів.

## ВСТУП

Широке розповсюдження робототехніки в різних галузях промисловості, на транспорті і в побуті вимагає подальшого розвитку електронних засобів контролю і керування автономними механізмами для забезпечення сталого розвитку цього напрямку. Поєднання точної механіки, електротехніки і електроніки мають забезпечити ефективне і, головне, безпечне використання роботів у всіх сферах людської діяльності.

Роботи пройшли довгий шлях від простої подоби механічних рук, що виконують повторювані завдання на заводських конвеєрах до складних механізмів, які пристосовані для роботи в різних галузях промисловості. Сьогодні вони оснащені складними сенсорами, які дозволяють їм «інтелектуально» сприймати навколишнє середовище та взаємодіяти з ним. Ці сенсори в поєднанні з сучасними вбудованими системами керування на базі мікро контролерів і мікропроцесорів відіграють вирішальну роль у наданні роботам даних для виконання запрограмованих функцій, навігації в складному середовищі та безпечної взаємодії з людьми. Призначення будь якої системи контролю і керування робото технічними системами полягає в максимальній ефективності і забезпеченні безпеки життєдіяльності людей, що знаходяться в контакті з автономно працюючими механізмами.

Кваліфікаційна робота має на меті розробку блоку системи контролю і керування робото технічних комплексів, що має забезпечувати високу надійність і безпеку для людини.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Використання мобільних роботів набирає обертів через зростання витрат на оплату праці та розширення електронної галузі. Ці автономні мобільні роботи, які зараз широко використовуються на складах, фабриках і в центрах виконання робіт для виконання широкого спектру логістичних завдань, виконують внутрішню логістику, обробку матеріалів, комплектування вантажів і доставку на останню милю. Сучасні роботи використовують новітні сенсорні технології та програмне забезпечення для обробки даних для виконання різних завдань, таких як вимірювання сили, виявлення об'єктів і зіткнень, навігація та локалізація, а також картографування. Наприклад, виявлення об'єктів і зіткнень, а також навігація та локалізація, виконуються за допомогою систем комп'ютерного бачення з камерою.

Однак, незважаючи на те, що ці промислові роботи неухильно завойовують позиції завдяки підвищенню продуктивності, безпека на робочому місці стає дедалі більшою проблемою.

Особливе місце в Індустрії 4.0 займають роботи технічні і кіберфізичні системи, що складають основу сучасного промислового виробництва [1]. Неможливо уявити сучасні конвеєри без механічних помічників людини, що виконують важливу функцію – визволити людину від монотонної праці, тим самим не тільки полегшуючі умови праці, але й підвищуючи якість виконуваних завдань (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Сучасні промислові роботи – маніпулятори

Сенсори використовуються в робототехніці для визначення стану роботів і навколишнього середовища, використовуючи функції, що подібні до людських органів чуття. Різним роботам потрібні різноманітні датчики для навігації під час виконання завдань. Роботи отримують широкий спектр даних про своє оточення, таких як положення, розмір, орієнтація, швидкість, відстань, температура, вага, сила тощо. Ця інформація дозволяє роботу ефективно функціонувати, взаємодіючи з навколишнім середовищем для виконання складних завдань. Робота датчиків роботів базується на принципі перетворення енергії в електричний сигнал. Різним роботам потрібні різні датчики для досягнення певних рівнів контролю та гнучкого реагування в навколишньому середовищі. Датчики служать «органами чуття» роботів, дозволяючи їм сприймати різні аспекти навколишнього середовища, включаючи відстань, орієнтацію, температуру, звук, світло тощо. Отримуючи дані від цих датчиків, роботи можуть аналізувати своє оточення, виявляти перешкоди, ідентифікувати об'єкти та відповідно адаптувати свою поведінку. Датчики дозволяють роботам взаємодіяти із

зовнішнім світом так само, як це сприймає і робить людина. Так само, як люди покладаються на свої органи чуття для навігації та прийняття рішень, роботи використовують датчики для інтерпретації навколишнього середовища та ефективного виконання завдань. Від промислових роботів в заводських цехах до автономних транспортних засобів на вулицях, датчики відіграють важливу роль у тому, щоб роботи могли працювати автономно, безпечно та ефективно.

### 1.1 Типи сенсорів, що застосовуються в робототехніці

В робототехніці застосовуються велика кількість різноманітних датчиків, перетворювачів і керуючих систем. Серед широкої номенклатури сенсорів існують різні види як з точки зору призначення, так і за ознакою складності, типу первинного перетворювача, способу обробки сигналу, наявності обчислювального ядра, типи інтерфейсів і таке інше.

Одними з перших в промисловості почали застосовуватись оптичні сенсори різних типів. Серед них найчастіше використовують фото резистори і фотодіоди. Характеристичним параметром фото резисторів є опір, який змінюється під дією оптичного випромінювання (рис.1.2). Зі збільшенням інтенсивності світла опір зменшується, і навпаки. Оскільки фото резистори відносяться до категорії параметричних первинних перетворювачів, для того, щоб зафіксувати зміну опору необхідна електронна схема, яка складається з джерела збудження і безпосередньо схеми вимірювання опору, тобто падіння напруги у вимірювальному колі.

Незважаючи на доволі значний коефіцієнт перетворення оптичного сигналу в електричний струм, простоту, малі габаритні розміри і масу фото резистори знаходять обмежене застосування внаслідок низької швидкодії і значної температурної нестабільності параметрів [2].

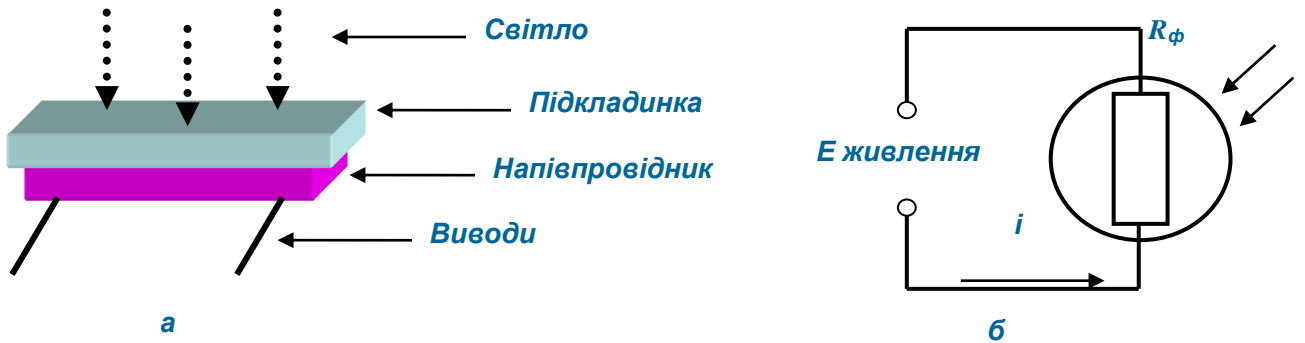


Рисунок 1.2 – Узагальнена структура фото резистора і умовно графічне позначення

Фотодіоди також перетворюють світло на електричний сигнал. Величина генерованого струму пропорційна інтенсивності світла, що падає на фотодіод. Використовує для перетворення світлової енергії в електричну фотогальванічний ефект. З точки зору технології фотодіод є звичайним напівпровідниковим діодом, в якому забезпечується можливість впливу оптичного випромінювання на  $p-n$  – перехід, тобто його корпус має вікно з лінзою, що спрямовує зовнішній світловий потік перпендикулярно площині  $p-n$  – переходу.

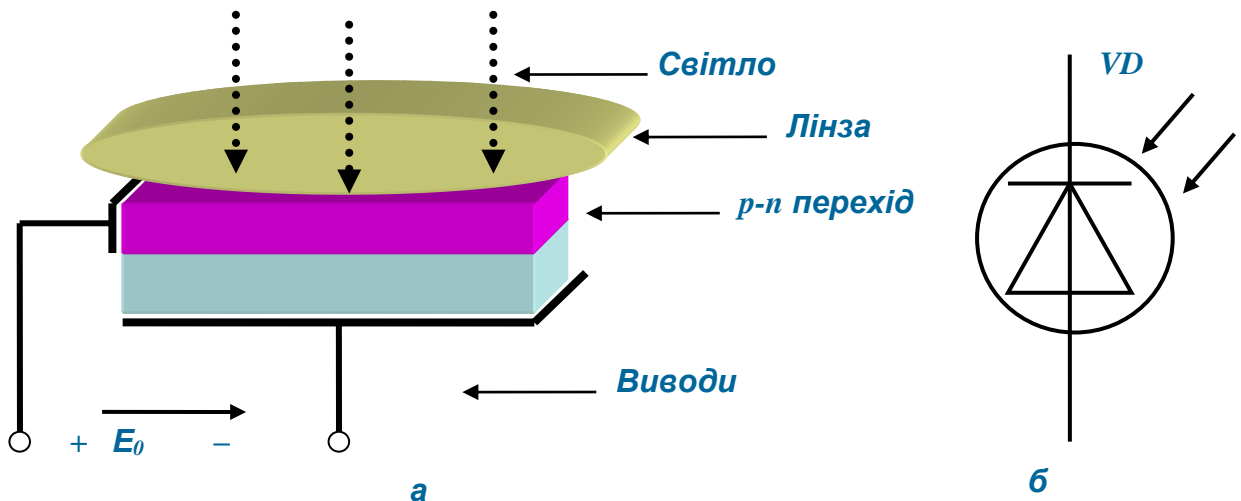


Рисунок 1.2 – Спрощена структура фотодіода і умовно графічне позначення

При впливі опромінення в напрямку, перпендикулярному площині  $p-n$ -переходу, в результаті поглинання фотонів з енергією, більшою, ніж ширина забороненої зони, в  $n$  – області виникають електронно-діркові пари. При дифузії фото носіїв вглиб  $n$  – області основна частка електронів і дірок не встигає рекомбінувати і доходить до кордону  $p - n$  – переходу. Тут фотоносії поділяються електричним полем  $p - n$  – переходу, причому дірки переходять в  $p$  – область, а електрони не можуть подолати поле переходу і скупчуються біля кордону  $p - n$  – переходу в  $n$  – області. Таким чином, струм фотоносіїв через  $p - n$  – перехід обумовлений дрейфом неосновних носіїв – дірок. Дрейфовий потік фотоносіїв називається фотострумом. Фото носії – дірки заряджають  $p$  – область позитивно щодо  $n$  – області, а фото носії – електрони –  $n$  – область негативно по відношенню до  $p$  – області. Виникає різниця потенціалів, що називається фото-ЕРС. Для забезпечення високої чутливості до випромінювання необхідно, щоб в фотодіоді дифузійна складова струму була мінімальною. Тому фотодіод працює або взагалі без зовнішньої напруги (фотогальванічний режим), або при зворотній зовнішній напрузі (режим фотодіода) (рис.1.3)

При використанні фотодіода в фотогальванічних режимі джерело зовнішньої напруги відсутнє, і діод працює як генератор фото-ЕРС, значення якої пропорційно інтенсивності світлового потоку  $\Phi$ . Значення фото-ЕРС не може перевищити контактну різницю потенціалів  $25\text{mA/cm}^2 \div 0,55\text{ V}$ , а значення струму короткого замикання при середньому сонячному освітленні складає десятки, або сотні мкА. У режимі фотодіода пристрій працює спільно з зовнішнім джерелом електричної енергії  $U_{зов}$ , позитивний полюс якого підключається до  $n$  – шару, а негативний – до  $p$  – шару. Під дією джерела напруги в колі фотодіода, включеного в зворотному напрямку, навіть при відсутності освітлення протікає невеликий темновий струм. В цьому випадку фотодіод нічим не відрізняється від звичайного діода.

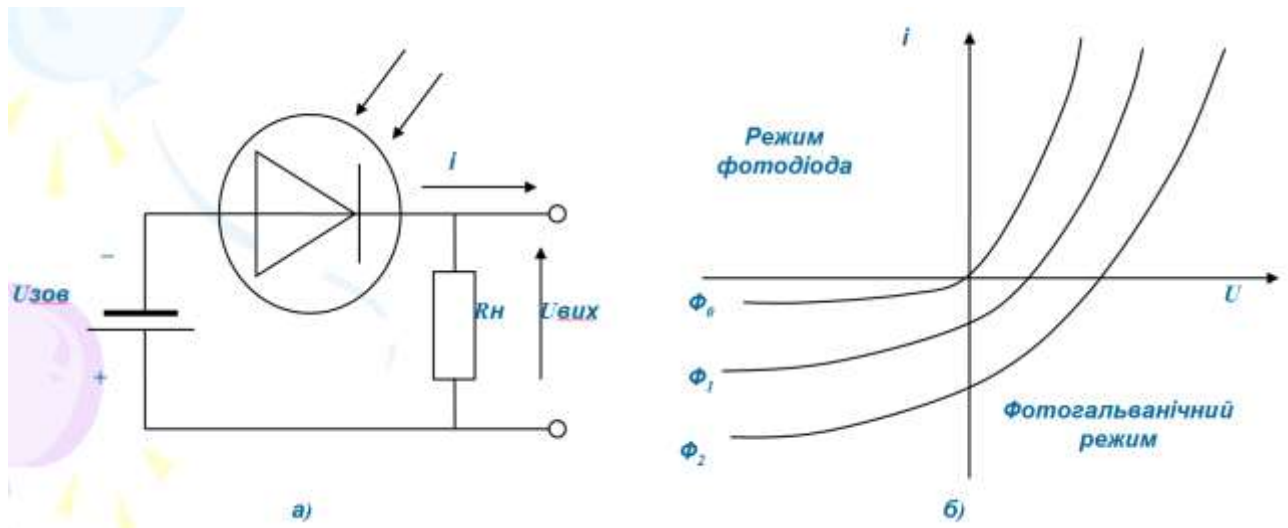


Рисунок 1.3 – Схема підключення (а) і ВАХ фотодіода (б)

Однією з головних характеристик фотодіода є його частотна характеристика, яка показує зміну інтегральної чутливості в залежності від зміни частоти світлового потоку.

Інерційні властивості фотодіода характеризують граничною частотою, на якій інтегральна чутливість зменшується в разів у порівнянні зі своїм статичним значенням. Гранична частота швидкодіючих кремнієвих фотодіодів – близько 10 МГц. Для підвищення швидкодії і збільшення чутливості розроблені деякі типи фотодіодів зі структурою, відмінною від структури фотодіода з р – n – переходом.

Фотодіоди, виконані на основі р – і – n –структур мають швидкодію на рівні від 1 ГГц до 10 ГГц. Аналогічними за швидкодією є фотодіоди на основі бар'єру Шоттки.

Фото транзистори мають структуру, схожу на структуру звичайного транзистора (рис. 1.4)

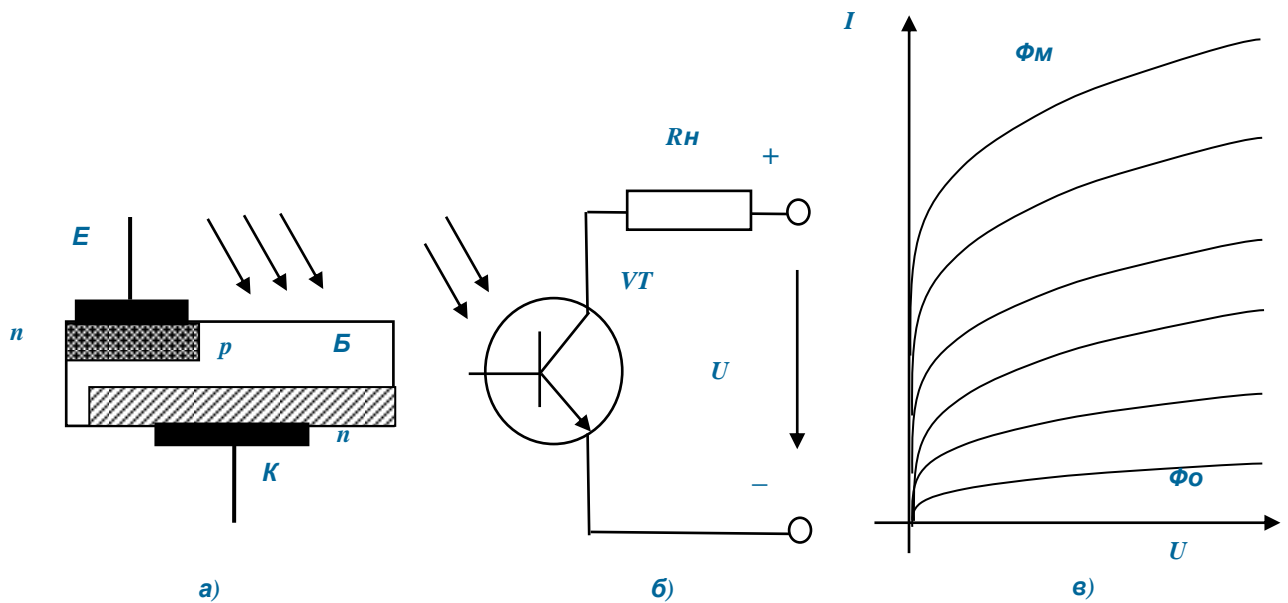


Рисунок 1.4 – Структура (а), схема підключення (б) і ВАХ фототранзистора (в)

Як і у звичайного біполярного транзистора, тут є два  $p - n$  – переходи: емітерний і колекторний. Напругу живлення на транзистор подають так само, як і на звичайний біполярний транзистор, тобто емітерний перехід зміщують в прямому. Таке включення називають включенням з плаваючою базою, і воно характерно тільки для фото транзисторів. При включенні з плаваючою базою фото транзистор завжди знаходиться в активному режимі, проте при  $\Phi = 0$  (і невисокій температурі) через нього протікає невеликий струм. Це темновий струм колектора транзистора при заданій температурі.

Датчики світла використовують для різних завдань, зокрема:

- роботи, оснащені датчиками світла, можуть виявляти зміни інтенсивності світла, спричинені перешкодами, що дозволяє їм безпечно орієнтуватися та уникати зіткнень;
- слідування за лінією з контрастним світлом відбиванням дозволяє переміщатися по певних шляхах на підприємствах;

– датчики світла можуть використовуватися для вимірювання умов навколишнього освітлення та відповідного реагування на дії, такі як увімкнення фар в умовах низької освітленості або налаштування параметрів камери для оптимального захоплення зображення;

– у певних випадках датчики світла можуть використовуватися для розрізнення об'єктів на основі їх відбивних властивостей, що допомагає в основних завданнях ідентифікації об'єктів.

До категорії оптичних сенсорів також відносяться камери зору. Подібно до очей людини, камери перетворюють оптичну інформацію за допомогою датчиків зображення. Ці дані потім обробляються для створення цифрового зображення, що дозволяє роботам «бачити» своє оточення та ідентифікувати об'єкти. Камери діють як очі роботів, дозволяючи їм розпізнавати об'єкти, орієнтуватися, маніпулювати об'єктами, оглядати продукти та взаємодіяти з людьми за допомогою візуальних підказок. Роботи можуть розрізняти об'єкти, класифікувати їх на основі візуальних ознак і навіть зчитувати етикетки чи коди. Ідентифікація об'єктів сьогодні переважно здійснюється за допомогою алгоритмів штучного інтелекту. Також, обробляючи візуальні дані, роботи можуть складати карту свого середовища, автономно переміщатися та безпечно уникати перешкод на своєму шляху. Більше того, датчики зору роботів у поєднанні з датчиками сили допомагають роботам точно захоплювати та маніпулювати об'єктами, забезпечуючи точне керування та уникаючи пошкоджень.

Технологія LiDAR використовує лазери для вимірювання відстані до об'єктів, випромінюючи імпульсний промінь та виявляючи відбите світло [3].

Розраховуючи час, необхідний для поширення світла, LiDAR створює 3D-карту навколишнього середовища. По суті, LiDAR – це далекомір, який вимірює відстань до цілі. Відстань вимірюється шляхом посилення короткого лазерного імпульсу та обчислення проміжку часу між вихідним світловим імпульсом та фронтом відбитого (зворотнього) світлового імпульсу (рис. 1.5).

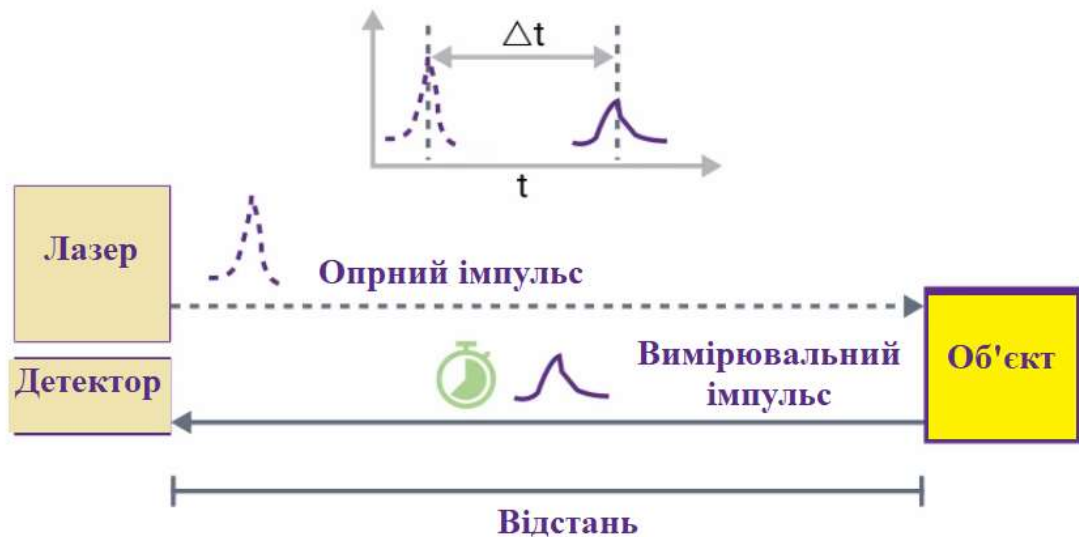


Рисунок 1.5 – Принцип роботи системи LiDAR

LiDAR може використовувати дзеркальну скануючу систему, кілька лазерних променів або інші засоби для сканування простору об'єкту. Завдяки можливості забезпечувати точне вимірювання відстаней, LiDAR можна використовувати для вирішення багатьох різних завдань в галузі робототехніки.

Сканер також можна використовувати для визначення швидкості цілі. Це можна зробити або за допомогою доплерівського методу, або шляхом вимірювання відстані до цілі у швидкій послідовності. Наприклад, швидкість автомобіля можна виміряти за допомогою такої системи.

Крім того, сканери LiDAR можна використовувати для створення тривимірної моделі динамічної зміни обстановки, що актуально для автономних роботів і транспортних засобів. Існують інші сфери застосування, наприклад у дистанційному зондуванні системи LiDAR використовуються для вимірювання розсіювання, поглинання або повторного випромінювання частинок чи молекул в атмосфері. Можна визначити наявність крапель дощу в атмосфері для оцінки відстані до шторму та інтенсивності опадів.

Системи LiDAR надають профілі тривимірних поверхонь у просторі, що використовується навіть в побутових приладах (рис.1.6).



Рисунок 1.6 – Застосування системи LiDAR в побутових приладах

В якості сенсорів присутності, наближення та відстані застосовують інфрачервоні, ультразвукові і піроелектричні перетворювачі. Принцип дії ультразвукових сенсорів схожий з лазерними пристроями. Відмінність в діапазоні довжини хвилі, компонентній базі і технічних характеристиках, що і обумовлює сферу застосування.

Інфрачервоні перетворювачі випромінюють та виявляють інфрачервоне випромінювання, невидиме для людського ока. Вимірюючи відбиті або прийняті хвилі, вони можуть визначати наявність та близькість об'єктів поблизу без фізичного контакту.

Піроелектричні перетворювачі широко представлені в якості сенсорів руху, що використовуються в системах охорони і контролю доступу.

Отже, датчики присутності, наближення та відстані призначені для виявлення об'єктів поблизу без фізичного контакту, вимірювання відстані до перешкод та інших об'єктів, і забезпечення безпечної навігації в різних середовищах.

Датчики навколишнього середовища призначені для контролю різних параметрів: температури, вологості, тиску, наявності радіації, контролю повітря та інше.

Датчики температури перетворюють зміни температури об'єктів, середовища, або самого пристрою на електричні сигнали, використовуючи різні принципи, такі як термістори або резистивні датчики температури. Існують різні типи інтегральних схем датчиків температури, що використовуються для вимірювання температури, включаючи аналогові LM34, TMP37, TMP35, TMP36, LM35, цифрові сенсори, тощо [4].

Акустичні сенсори в робототехніці представлені в більшості твердотільними перетворювачами на основі MEMS технологій (рис. 1.7).

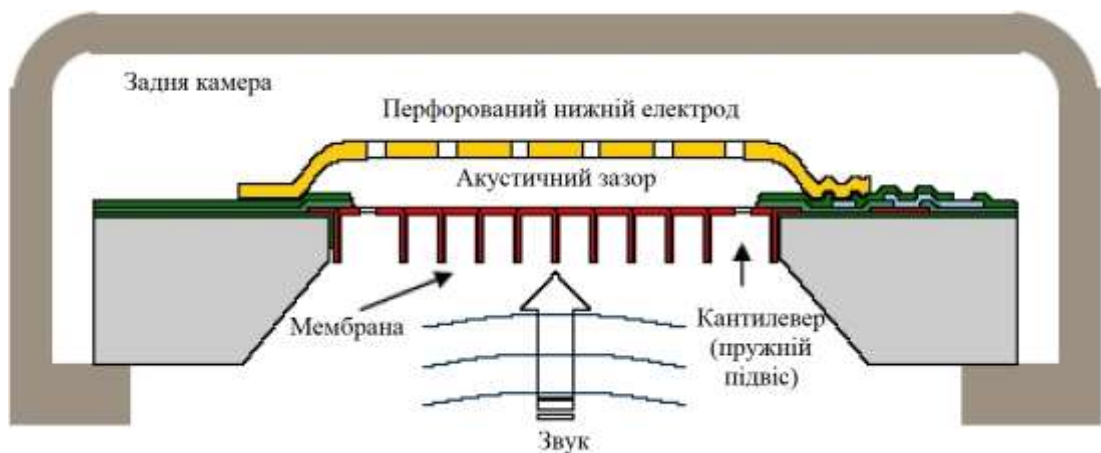


Рисунок 1.7 – Структура MEMS мікрофона ємнісного типу

Це обумовлено масогабаритними вимогами, енергоспоживанням, надійністю. В якості перетворювачів використовують електретні, конденсаторні і п'єзоелектричні структури.

Для вимірювання тиску, або сили найчастіше застосовуються тензометричні перетворювачі. Вимірюючи силу, що діє на гнучку мембрану, датчики тиску можуть виявляти різні фактори, такі як сила утримання, тиск повітря, рідини або навіть стан поверхні об'єкту. Вони часто використовують п'єзоелект-

ричні матеріали, які генерують електричну напругу, пропорційну прикладеному тиску. Наприклад, в якості прикладу, чутливий елемент датчика тиску Trafag, який виконано за тонкоплівковою технологією на металевій мембрані (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Топологія чутливого елемента тензометричного сенсора

На мембрані (1) з нержавіючої сталі сформовано чотири тензорезистори (2), які з'єднуються за схемою вимірювального мосту з елементами контуру компенсації температури (3,) провідники та контактні площадки (4).

Загальна структура сенсора окрім чутливого елемента містить схеми узгодження сигналу, аналого-цифрові та цифро аналогові перетворювачі, таблицю перекодування, блок компенсації температури, тиску і не лінійності, обчислювальне ядро та інтерфейсні схеми, що об'єднані в спеціалізованій замовній інтегральній схемі.

Датчики навколишнього середовища дозволяють роботам за рахунок визначення параметрів робочої зони адаптуватися до змінних умов, таких як тем-

пература, вологість чи тиск, контролювати стан середовища і самих роботів а також приймати рішення. відповідні до умов згідно з алгоритмом роботи.

Інерційні прилади поєднують у собі кілька датчиків, таких як акселерометри, гіроскопи, а іноді й магнітометри. Акселерометри вимірюють прискорення робота в різних напрямках, що дозволяє йому відчувати рух, нахил та вібрацію. Гіроскопи визначають швидкість обертання навколо осі, допомагаючи роботам підтримувати рівновагу та стабільність (рис. 1.9). Магнітометри вимірюють магнітне поле Землі, надаючи роботам інформацію про напрямок для навігації.

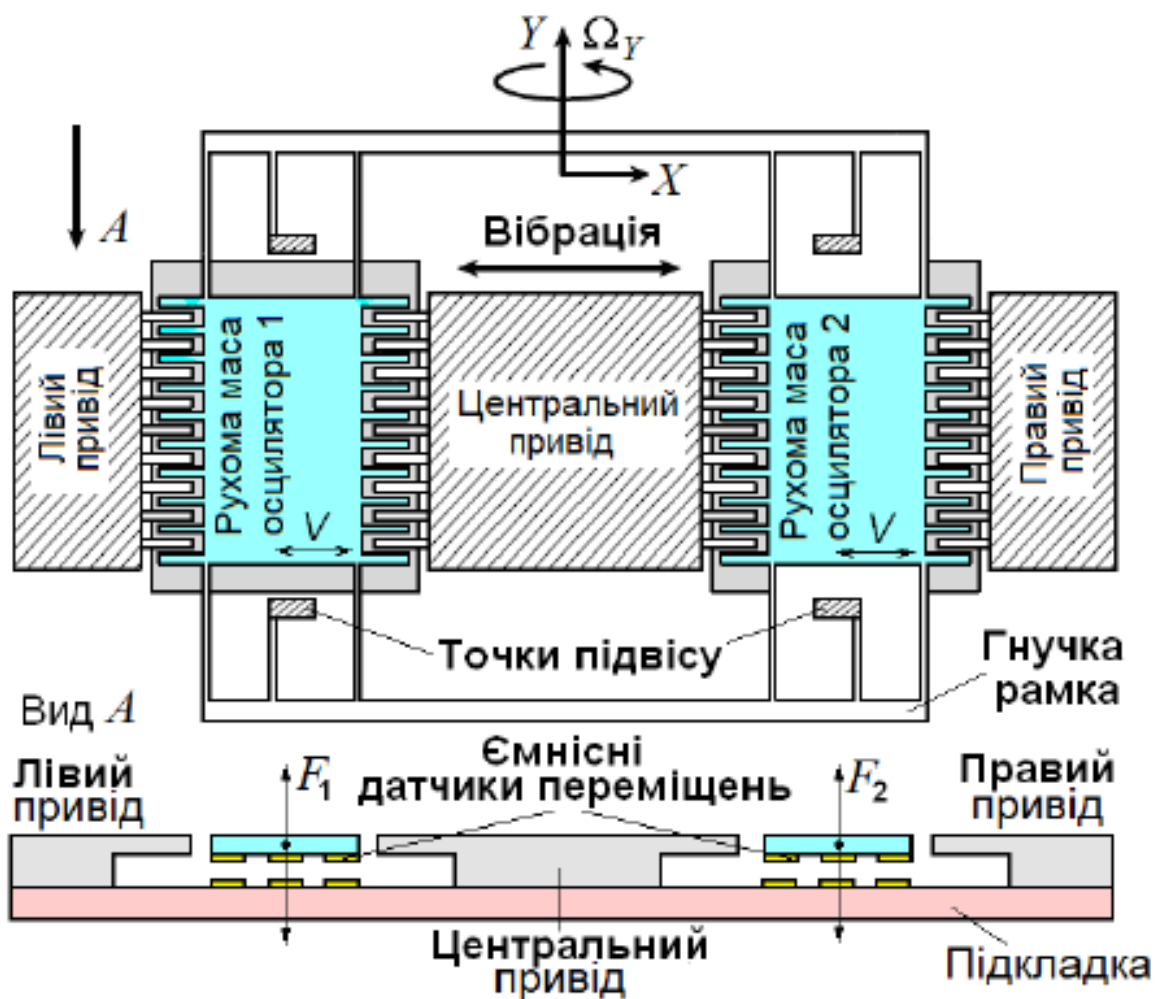


Рисунок 1.9 – Топологія і структура гіроскопа

Об'єднані дані з цих датчиків роботів надають роботам різні можливості:

- навігація та стабілізація для підтримання рівноваги та орієнтації під час руху, що дозволяє виконувати такі завдання, як автономна навігація, керування польотом дронів та само балансування під час роботи;
- відстеження та керування рухом забезпечують контроль для маніпулювання роботизованою рукою або захоплення об'єктів;
- визначення місця розташування робота у разі відсутності GPS на основі попередніх рухів та даних датчиків.

Окрім зазначених сенсорних систем в робототехніці широко застосовуються інші різноманітні типи перетворювачів, наприклад сенсори струму, магніточутливі сенсори, радіаційні, радіочастотні, тактильні сенсори і таке інше.

Отже, датчики і перетворювачі відіграють ключову роль у покращенні сприйняття, «інтелектуалізації» та функціональності роботів у різних сферах. Надаючи здатність «відчувати» та інтерпретувати своє середовище, датчики дозволяють роботам працювати автономно, безпечно та ефективно. Від базових датчиків наближення до передових систем LiDAR, кожен тип датчика сприяє покращенню загальних можливостей роботизованих систем, дозволяючи їм орієнтуватися в складних середовищах, взаємодіяти з об'єктами та ефективно співпрацювати з людьми. З розвитком технологій можна очікувати подальших інновацій у сенсорних технологіях, що сприятимуть еволюції робототехніки та розширюватимуть можливості взаємодії людини та робота.

## 2 РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ РОБОТА

Сучасні роботи використовують новітні сенсорні технології та програмне забезпечення для обробки даних задля виконання різних завдань, таких як вимірювання сили, виявлення об'єктів і зіткнень, навігація та локалізація, а також картографування. Такі завдання, як виявлення об'єктів і зіткнень, а також навігація та локалізація, виконуються за допомогою систем комп'ютерного бачення з камерою, лазерними, інфрачервоними сенсорами, радаром і іншими системами. Також необхідно виділити і системи, призначені для контролю стану обладнання (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Застосування сенсорів в індустріальному Інтернеті речей (IDTechEx)

Однак, незважаючи на те, що ці промислові роботи неухильно завойовують свої позиції завдяки підвищенню продуктивності, безпека на робочому місці стає дедалі більшою проблемою. Для вирішення цієї проблеми розробники роботів використовують новітні сенсорні технології та програмне забезпечення для обробки даних задля виконання різних завдань, таких як вимірювання сили,

виявлення об'єктів і зіткнень, навігація та локалізація, а також картографування місцевості. Такі завдання, як виявлення об'єктів і запобігання зіткнень, а також навігація та локалізація, виконуються за допомогою систем комп'ютерного бачення, різноманітних систем зондування оточення. Розумні датчики, описані в першій главі, також починають включати технологію машинного навчання, що сприяє покращенню роботи без явного програмування.

Однією з сучасних тенденцій в робототехніці є поява і активне впровадження нового напрямку – роботи для співпраці (collaborative robots, коботи, або роботи – помічники). У міру того як межі між роботами та коботами стираються, потреба у швидких, гнучких роботах-системах «без клітки» швидко зростає. Сучасні коботи зазвичай мають суворі обмеження на потужність силових механізмів для безпеки, зупиняючись після контакту з перешкодою. Однак це за своєю суттю обмежує їх продуктивність і збільшує час робочого циклу, оскільки робота на високій швидкості зробила б зіткнення небезпечними. Галузі, які прагнуть розгорнути високопродуктивних роботів у відкритих робочих просторах, і побутові роботи, що з'являються в нашому повсякденному середовищі, потребують вищих швидкостей, вимагаючи нового покоління систем сприйняття, контролю та чуття [5].

Щоб вивести роботів за межі традиційних параметрів «безпечно, але повільно», потрібні нові можливості систем контролю і керування, які можуть адаптуватися в реальному часі. Якщо колись коботи сильно залежали від обмежень потужності та механічної «м'якості», наступне покоління має працювати на вищих швидкостях без шкоди для безпеки людини (рис. 2.2).

Цей стрибок потребує сенсорних систем із ширшим охопленням, більшою швидкістю оновлення та більш тісною інтеграцією з обчислювальними платформами. Безперервно відстежуючи близькість об'єктів і людей, прогнозуючи траєкторії руху та відрізняючи людей від об'єктів і статичного простору, ці вдосконалені системи можуть запобігати небезпечним зіткненням у динамічному спільному середовищі.

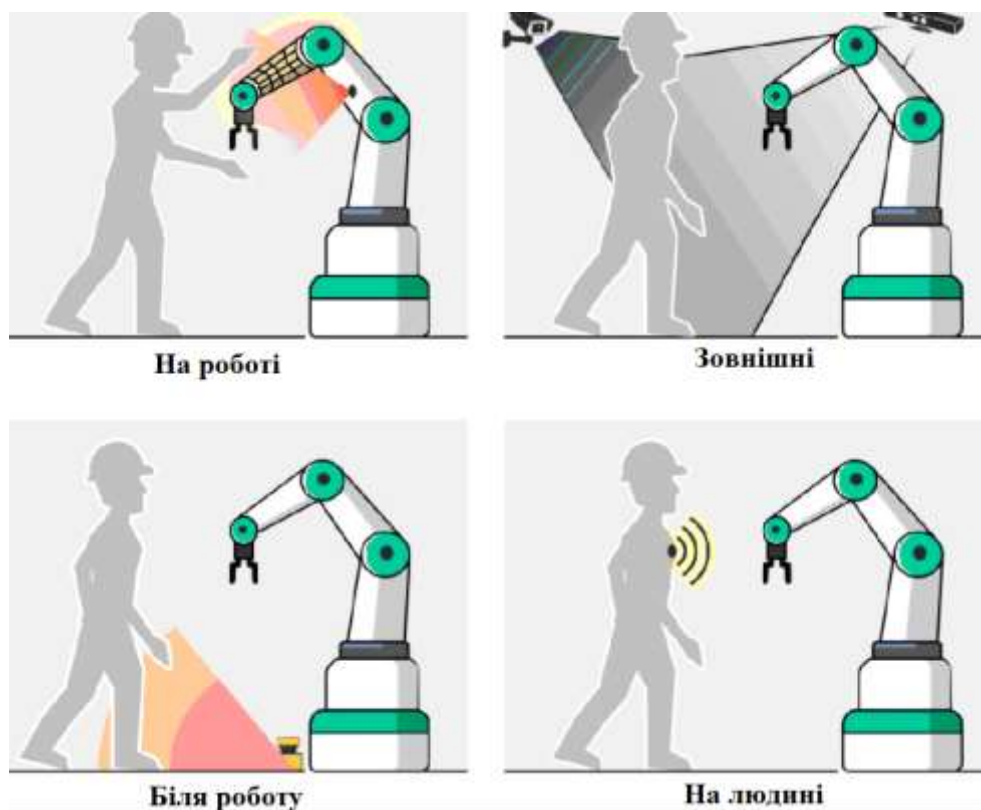


Рисунок 2.2 – Місця встановлення датчиків безпеки (IEEE/imes)

Гуманоїдні роботи додають ще один вимір цьому виклику. Їхній антропоморфний дизайн дозволяє їм функціонувати в просторах, створених для людей, але також поміщає їх у непередбачуване середовище, від жвавих заводських цехів до повсякденних громадських місць. Досягнення безпечної роботи в цих складних середовищах вимагає не тільки більшої кількості датчиків, але й більш інтелектуального об'єднання датчиків (рис.2.3).

У поєднанні з детермінованими алгоритмами, які обробляють дані з багатьох параметрів середовища, роботи можуть отримати надійні дані про ситуацію, навіть якщо зір закритий туманом, яскравим світлом або оклюзією (недостатній контакт). Крім того, гнучкі датчики, схожі на шкіру, забезпечують охоплення великої площі без додавання надмірної ваги, дозволяючи роботам рухатися зі швидкістю, ближчою до їхнього механічного потенціалу.

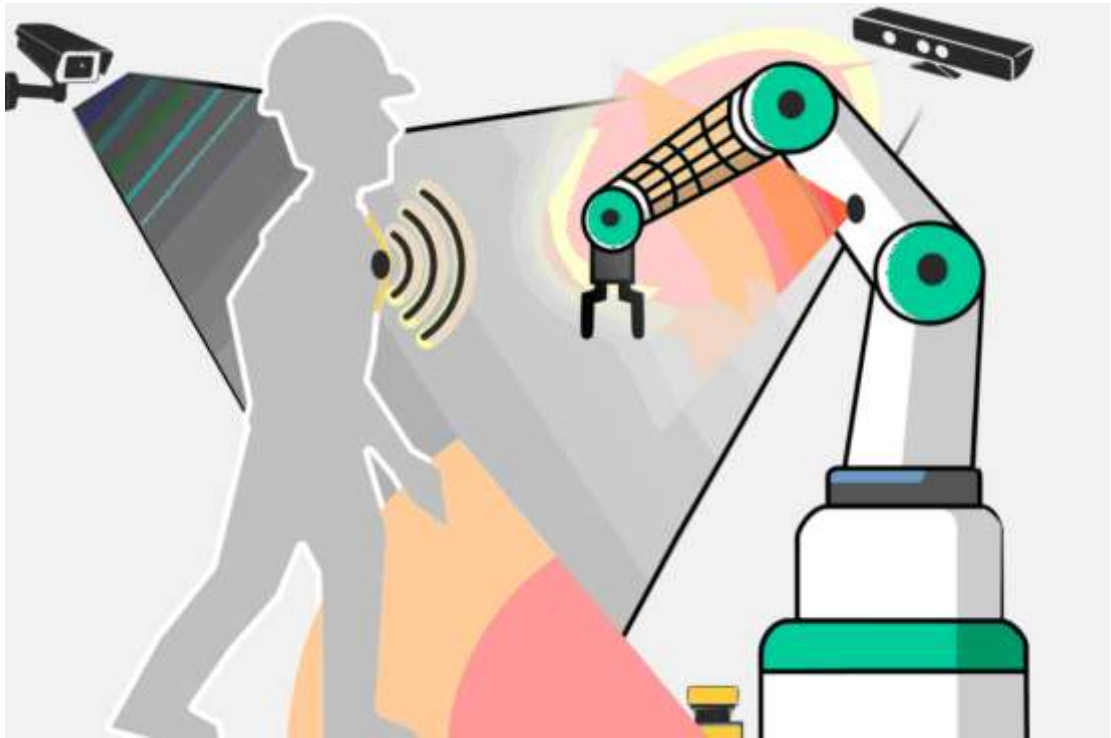


Рисунок 2.3 – Комбінація сенсорів датчиків у середовищі людина-робот (IEEE/imes)

В останнє десятиліття спостерігається чітка тенденція до збільшення систем безпеки з підтримкою датчиків. Домінуючими датчиками, що використовуються, є інфрачервоні структуровані датчики світла, ємнісні, датчики виявлення світла та вимірювання дальності, резистивні датчики, стерео камери огляду, RaDAR та інші сканери. Деякі системи об'єднують кілька типів датчиків, причому найпоширенішими комбінаціями є LiDAR зі стерео камерами або LiDAR з ємнісними датчиками та лазерні сканери з RaDAR. Тобто, найпоширенішим варіантом є мультисенсорна інтеграція та стандартизовані тести для перевірки працездатності і безпеки.

Взаємодія людини з роботами раніше перешкоджали фізичні бар'єри в закритих роботизованих системах. Поява роботів для співпраці, що працюють за допомогою приводів зі змінним зусиллям, змінила цю ситуацію, дозволивши налагодити співпрацю між людьми та роботами в спільному робочому просторі. Коботи пропонують підвищену гнучкість, високу швидкість активації,

швидке програмування та можливість розгортання на динамічних і гнучких робочих станціях, що забезпечує швидку самоокупність. Однак, незважаючи на їхні потенційні переваги, впровадження колаборативних роботів залишається відносно низьким і складним. Це можна пояснити такими факторами, як складність виконання системного аналізу ризиків, обмежені знання про безпечну експлуатацію коботів, занепокоєння щодо сприйняття працівниками, сприйняття та розуміння операцій коботів та стратегії активації режиму безпеки під час співпраці [6].

Розвиток Індустрії 5.0, як тенденції, що надає пріоритет безпеці життєдіяльності працівників у центрі виробничого процесу, має на меті використовувати передові технології для покращення навичок працівників і зосередження на завданнях, які неможливо автоматизувати, тоді як роботи виконуватимуть більш рутинні та менш інтелектуальні операції. Такий підхід допоможе вирішити проблему дефіциту персоналу, яка поширена на складному глобальному ринку праці, зокрема у обробній промисловості. Крім того, концепція циклічних моделей виробництва та модернізація існуючої технології передбачає обладнання сучасних промислових роботів технологіями безпеки, щоб забезпечити більш тісну співпрацю між людьми та роботами, стираючи межу між двома крайнощами: коботами, які є безпечними, але повільними, та традиційними промисловими роботами, які є швидкими, але небезпечними.

## 2.1 Розробка структури мультисенсорної підсистеми для кобота

Будь яка система керування складних комплексів, до яких, безумовно, відносяться промислові роботи, має свої архітектурні особливості. В галузі контролю і керування розглядають різні варіанти побудови загальної структури системи. До складу системи входять сенсори, різноманітні перетворювачі, схеми узгодження і збудження, шини з'єднань, контролери, інтерфейси, пам'ять та інші функціональні блоки (рис. 2.4).

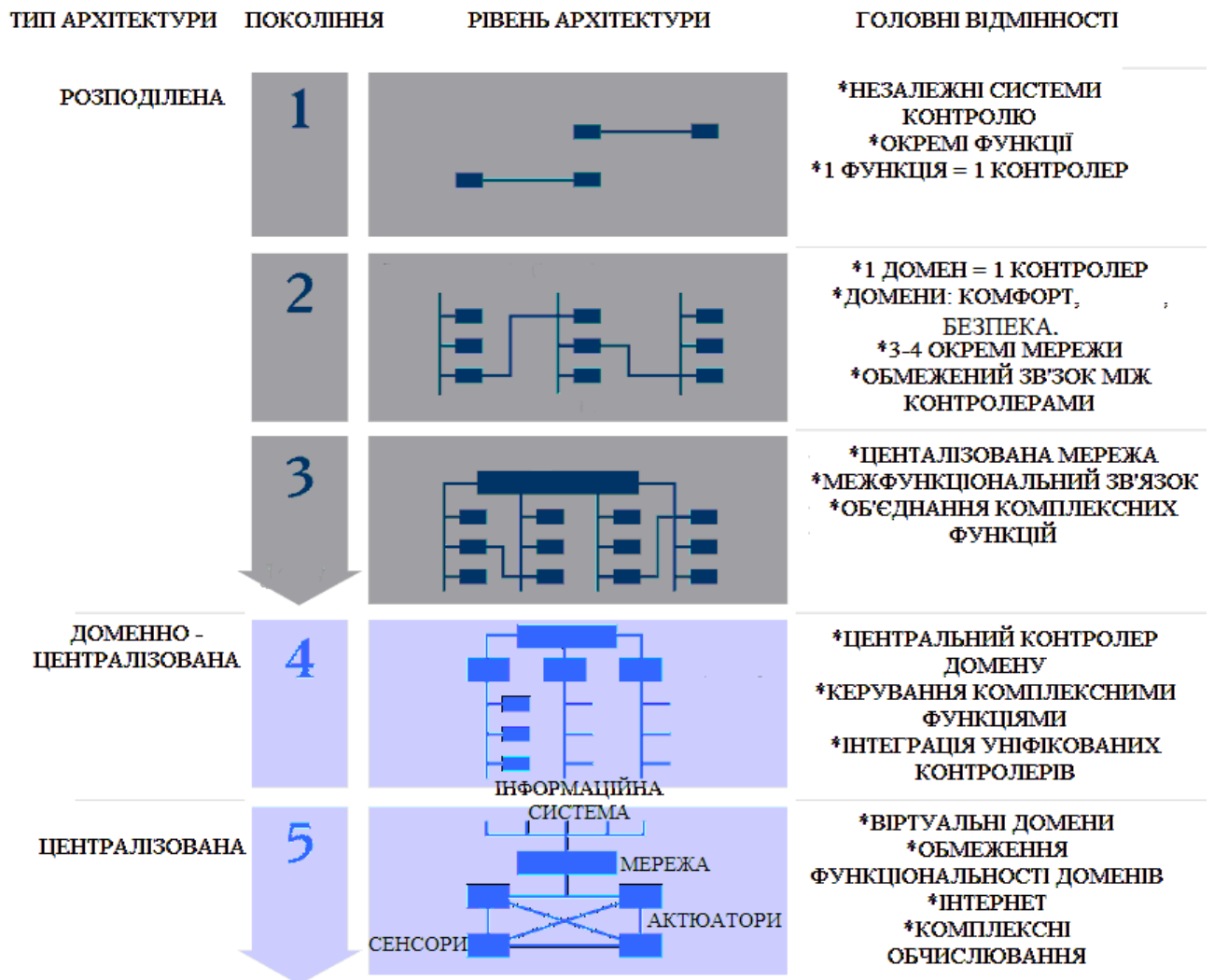


Рисунок 2.4 – Загальна структура систем контролю і керування

Загальна побудова архітектури спирається на три головні складові: джерела сигналу (сенсори), пристрої обробки сигналу (контролери і перетворювачі) і виконуючі прилади (індикатори, двигуни, сигналізатори). перший тип архітектури складався з підсистем типу один датчик – один контролер. За наявності невеликої кількості таких підсистем такий підхід мав право на життя і, більш того, він мав відносно високу швидкодію. Зі зростанням кількості підсистем зростала складність архітектури і з'явилися друге і третє покоління, в яких вже відбулось поєднання окремих підсистем в доменну структуру, яка складалася з декількох джерел сигналу (сенсорів), дані від яких обробляв контролер домену.

Така структура значною мірою спрощувала комутацію сигналів в рамках одного домену, зменшувала кількість з'єднань, що суттєво впливало на кількість і вагу шин (дротів). Однак така архітектура потребує більшої обчислювальної потужності від контролера, оскільки вимоги щодо швидкодії системи залишились незмінними, а кількість джерел інформації збільшилась. Таким чином, наступні кроки в удосконаленні архітектури були викликані наступними чинниками:

- значне збільшення кількості контрольованих параметрів, що призвело до запровадження різноманітних сенсорів;
- підвищення швидкодії контролерів системи, обумовлене вимогами застосування технологій стерео бачення, супутникових технологій, лазерних і оптичних систем контролю середовища;
- суворі обмеження щодо енергоспоживання для компонентів мобільних і стаціонарних систем;
- значне збільшення об'ємів пам'яті, що викликано застосуванням технологій штучного інтелекту, машинного навчання, тощо.

Сенсорні технології також відчували значні зміни. З'явився окремий напрям, який підтримав розробку і виробництво тактильних сенсорів, значне поширення отримали технології, що пов'язані з тонко плівковими полімерними матеріалами мікроелектроніки, оскільки вони виявились ідеальною технологією для гнучких датчиків, які зайняли одно з провідних місць в техніці забезпечення співпраці з роботами [7].

З багатьох підсистем робототехніки значну роль відіграють сенсори, що забезпечують вимірювання відстані до об'єктів, сенсори тиску і акселерометри. Розробка підсистеми, що поєднує ці типи сенсорів починається із розробки загальної структури. Окрім самих сенсорів до складу підсистеми входять вторинні джерела живлення, джерела опорної напруги, перетворювачі, контролер і додаткові блоки (рис. 2.5).

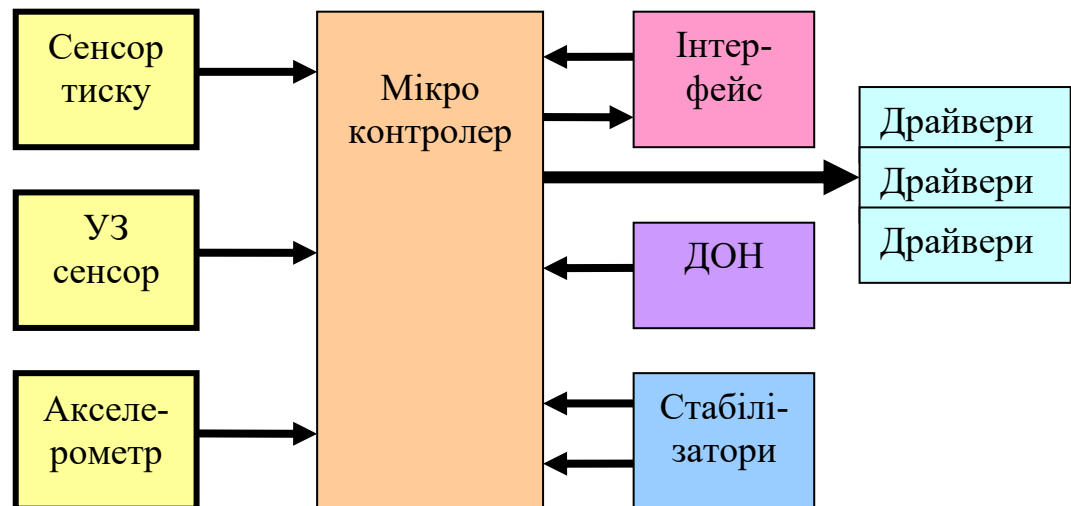


Рисунок 2.5 – Структурна схема підсистеми робота

До складу підсистеми входить інфрачервоний далекомір для контролю відстані в ближній зоні, сенсор тиску для визначення робочого зусилля механічного маніпулятора через тиск в системі гідроприводу, а також акселерометр, що виконує функції контролю руху і, разом з оптичними і радіочастотними системами позиціонування, забезпечує відстеження і документування рухів робота, або його окремих маніпуляторів. Мікро контролер виконує функції керування, перетворення даних, зв'язок з головним контролером системи керування і керування драйверами приводів робота.

При виборі компонентної бази для системи головну увагу потрібно приділити таким характеристикам комплектуючих, як економічність, масогабаритні параметри і достатня швидкодія. Обов'язковим при виборі керуючого приладу – мікро контролеру є наявність необхідних інтерфейсів зв'язку і можливість перепрограмування «в системі».

В якості первинного перетворювача далекоміра доцільно використати інтегральний блок, який складається з ультразвукової пари приймач-передавач із вбудованою схемою генератора з частотою 40 кГц і схемою обробки сигналу. Зважаючи на зазначені критерії в якості аналогу далекоміра для розробки прототипу обрано гібридний блок HC-SR04. Його габаритні розміри 40\*20\*15 мм<sup>3</sup>

(для довідки), напруга живлення 5 В, струм – до 25 мА. Цифровий вихідний сигнал з інтерфейсом I<sup>2</sup>C з роздільною здатністю 8 біт. Діапазон вимірювання від 10 см до 5 метрів з приведеною похибкою +/- 1%.

Сенсори тиску і акселерометри виготовляються за інтегральною напівпровідниковою технологією з використанням МЕМС структур. Існує велика кількість виробників сенсорів тиску, які пропонують широкий вибір конструкції сенсорів з різними характеристиками, але для контролю тиску в гідроприводі головну увагу треба приділити типу виконання датчика, оскільки від характеристик корпусу і з'єднувачів залежить якість роботи маніпулятора робота. Одним з провідних світових розробників і виробників сенсорів тиску є Honeywell, що постачає сенсори як побутового, так промислового і спеціального класу для особливо чутливих галузей – енергетичної, космічної, військової і медичної. Серед продукції є не тільки прилади, призначені для монтажу в різноманітні мікро блоки, але є спеціальні типи упаковки з високим ступенем захисту від зовнішнього середовища, вібрацій і механічних ушкоджень.

Вибір інших компонентів обумовлений в першу чергу доступністю, оскільки характеристики більшості акселерометрів, драйверів виконуючих пристроїв доволі близькі за виключенням спеціалізованих інтегральних схем для тих самих чутливих галузей [8].

Із урахуванням особливостей вибору компонентів була розроблена функціональна схема пристрою (рис. 2.6).

Наступний крок – розробка схеми електричної принципової пристрою. Взагалі для розробки конструкції будь якого електронного пристрою застосовуються спеціалізовані системи автоматизованого проектування. Дані системи підрозділяються на системи класу САД і ЕДА. Відмінність цих двох типів САПР полягає в наявності до основних редакторів спеціалізованих додатків для моделювання роботи електронної схеми, спеціальних функцій, призначених для роботи з мікрохвильовими проектами, симуляції теплових, електромагнітних процесів, перевірка цілісності сигналу тощо. Таким чином, високо інтегровані

EDA системи відносяться до категорії професійних, високо вартісних пакетів проєктування в електроніці.

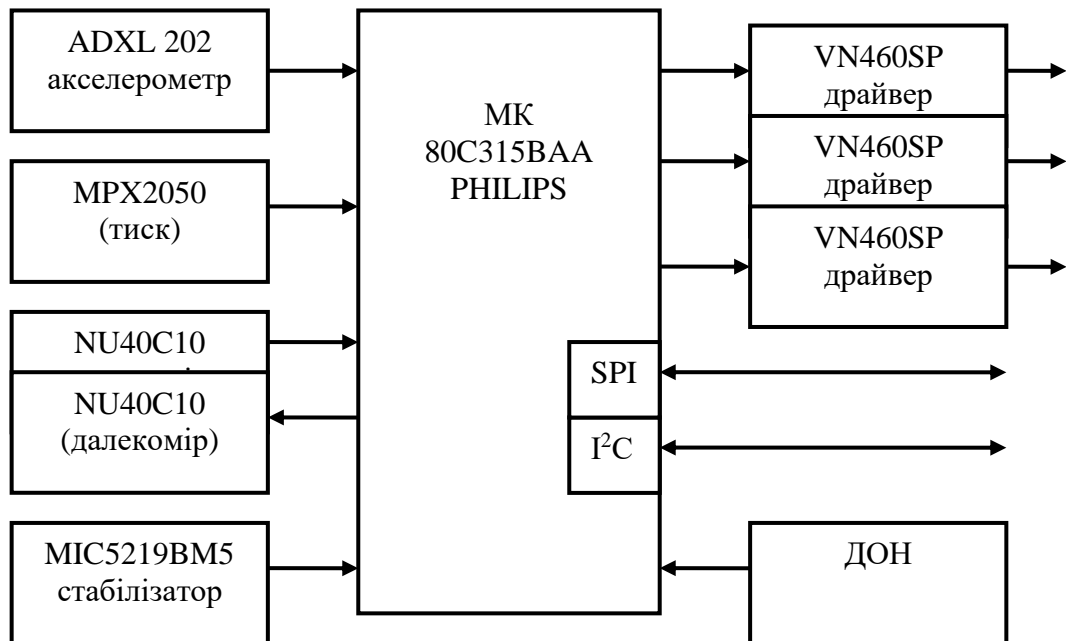


Рисунок 2.6 – Функціональна схема підсистеми робота

У загальному випадку структура будь якої САПР обов'язково має три редактори:

- схемний редактор, призначений для введення принципової електричної схеми пристрою;
- редактор друкованих плат;
- редактор бібліотек.

Редактор бібліотек окрім можливості надання доступу до наявних в САПР умовних позначень компонентів також має функцію створення особистих бібліотечних компонентів за допомогою двох інших редакторів. Окрім умовних позначень компонентів редактор бібліотек містить додаткові дані, що пов'язують позначення компоненту на схемі з його відбитком на друкованій платі.

Першим кроком для введення схеми в САПР є створення окремого проєкту, до якого згодом будуть додані всі робочі файли, від самої схеми до переліку компонентів і, потім, технологічні файли, згенеровані редактором друкованих плат. Введення самої схеми починається з вибору формату документу, призначення імені файлу, встановлення компонентів на робоче поле і, використовуючи наявні інструменти, формування з'єднань у відповідності до проєкту (рис. 2.7).

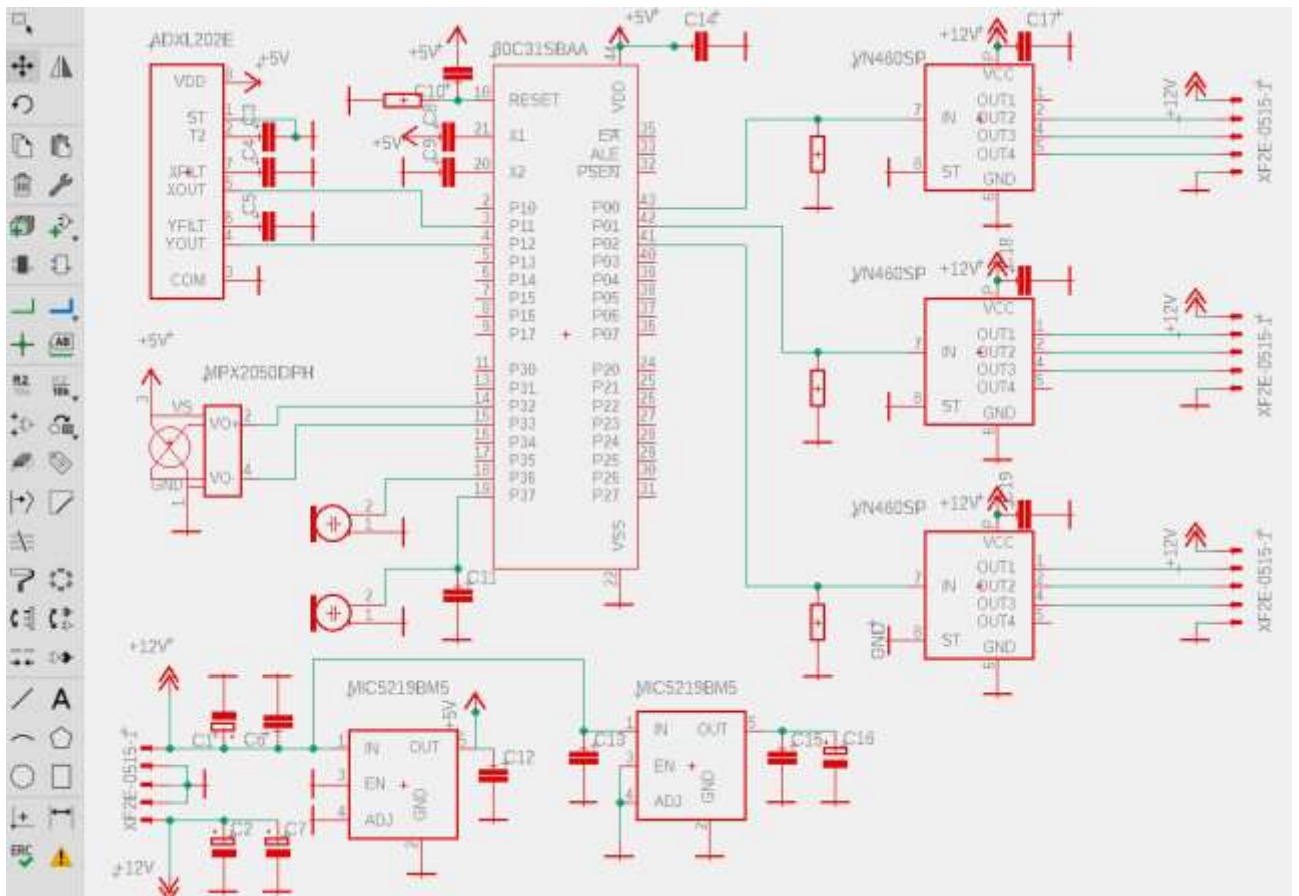


Рисунок 2.7 –Схема електрична принципова, введена в САПР

Наступний крок – формування переліку компонентів і списку з'єднань для експорту в редактор друкованих плат (ця функція в більшості САПР виконується автоматично). Після формування контуру друкованої плати потрібно розмістити компоненти відповідно до їх функції і провести трасування в ручному, або

автоматичному режимі. Вид плати після закінчення трасування приведено на рисунку 2.8.

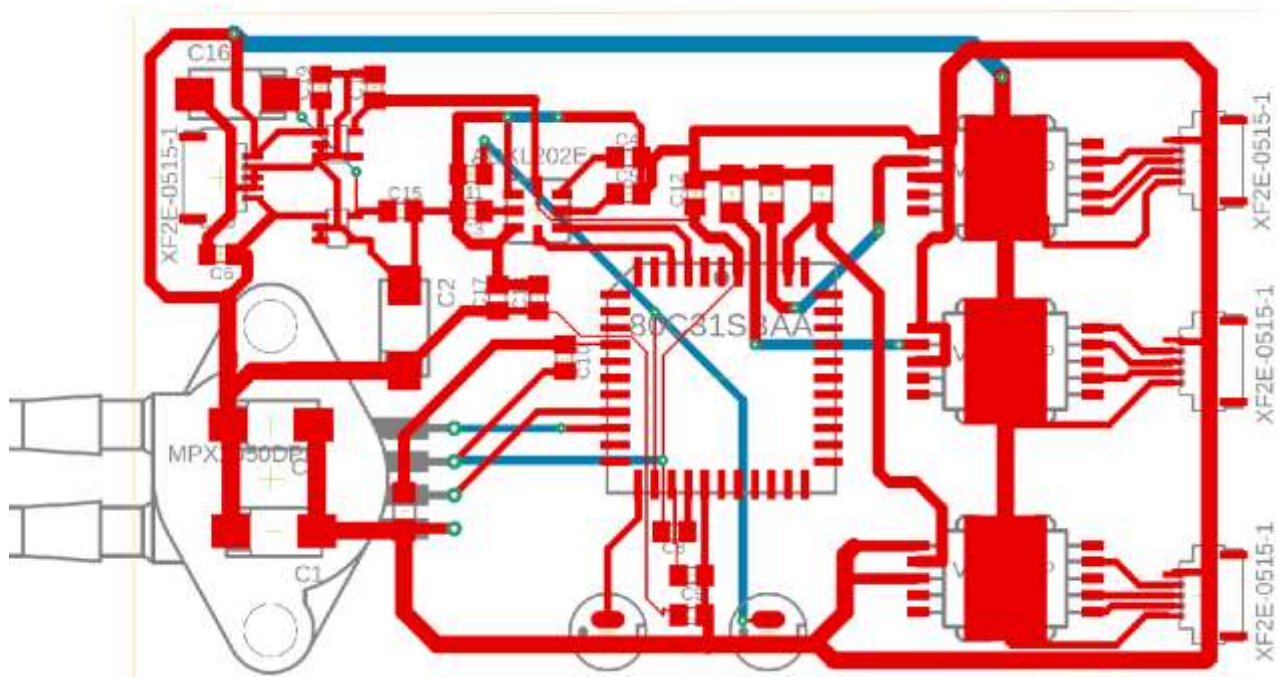


Рисунок 2.8 – Плата пристрою після трасування

Після закінчення потрібно сформувати файли, необхідні для виготовлення друкованої плати, перелік компонентів і дані, необхідні для складання пристрою.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було розглянуто методи і засоби контролю функціонування робото технічних систем.

Застосування сенсорів в системах контролю роботів.

Розроблено структурну і функціональну схему підсистеми робота, обрано відповідну компонентну базу.

Також із застосуванням системи автоматизованого проектування була зроблена конструкція друкованої плати системи контролю тиску гідромеханічного приводу, пристрою контролю відстані і руху.

Отримані технологічні файли для виробництва.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1 Перехід до промисловості 4.0 з прогнозованими рішеннями для обслуговування. Карнаушенко В., Васильєв Ю., Горбенко Є., Пятайкіна М. IV CISP Conference “Scientific researches and methods of their carrying out: World experience and domestic realities”. 2023. №20 – pp.97-101.

2 URL: <http://www.analog.com> [Електронний ресурс. Режим доступу 05.05.2025]

3 Бондаренко І.М., Бородін О.В., Карнаушенко В.П «Мікропроцесорні системи контролю та керування»: Навч. посібник для студентів ЗВО. – Харків: ХНУРЕ. – 2020. – 248с.

4 Hardware for Providing Smart Farming Technologies. / Volodimir Karnaushenko, Liudmyla Sviderska. DOI: 10.35598/mcfpga.2023.003

5 Бондаренко І.М., Бородін О.В., Карнаушенко В.П. Сучасна компонентна база електронних систем: Навч. посібник для студентів ЗВО. – Харків: ХНУРЕ. – 2020. – 241с.

6 Інформаційні технології в транспортних додатках. Горбенко Є.О., Васильєв Ю.С., Карнаушенко В.П., Пятайкіна М.І. Збірник матеріалів IV форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2022. – Харків, ХНУРЕ, 2022. – 178 с.

7 Combining ASIC and SoC / Volodimir Karnaushenko, Hennadii Bendeberia, Ihor Bondarenko, Oksana Babychenko / VI Міжнародна науково-практична конференція «Теоретичні та прикладні аспекти розробки пристроїв на мікроконтролерах і ПЛІС». MC&FPGA-2024. 27-28 червня 2024 року, м. Харків, Україна

8 Головні тенденції у виробництві електроніки. Васильєв Ю.С., Горбенко Є.О., Карнаушенко В.П., Пятайкіна М.І. Збірник матеріалів IV форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» AERT-2022. – Харків, ХНУРЕ, 2022. – 178.