



Hochschule Reutlingen
Reutlingen University



Lab4All:

Open Access
Cyber-Physical Laboratories for
Ukrainian Universities

Project: “Car Vali”

Project Manager: Serhii Khudolii
By Taras Khalaimov
December, 2023



Deutscher Akademischer Austauschdienst
German Academic Exchange Service



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Зміст

1. РОЗДІЛ - АНОТАЦІЯ	9
2. РОЗДІЛ - ВСТУП	12
2.1. ЦІЛІ ПРОЕКТУ	12
2.2. ВИМОГИ ДО ПРОЕКТУ	13
3. РОЗДІЛ - ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	17
3.1. АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ	19
3.2. ПОТОЧНИЙ СТАН ВІДДАЛЕНОГО ДОСТУПУ	20
3.3. ВИМОГИ ДО ОБЛАДНАННЯ	21
3.4. ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДУ.....	23
3.5. ВИСНОВКИ ДО ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ	25
4. РОЗДІЛ – ВИБІР ОБЛАДНАННЯ.....	26
4.1. ВИБІР СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ІНТЕРФЕЙСУ ПІДКЛЮЧЕННЯ	26
4.2. ВИБІР КОМУНІКАЦІЙНОЇ ПЛАТФОРМИ.....	27
4.3. ВИБІР ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	30
4.4. ВИБІР ДАВАЧА СТРУМУ ТА НАПРУГИ	32
4.5. ВИБІР ДАВАЧА ШВИДКОСТІ.....	37
4.6. ВИБІР ДРАЙВЕРА ДВИГУНІВ.....	39
4.7. ВИБІР КОМУНІКАЦІЙНОГО МОДУЛЯ	42
4.8. ВИБІР НАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ	44
4.9. ВИБІР ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ	46
4.10. ВИБІР КАМЕРИ.....	48
4.11. ВИБІР КОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	51
4.12. ВИБІР МАТЕРІАЛІВ КОРПУСУ СТЕНДУ	53
4.13. ВИБІР СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ	56
4.14. ВИСНОВКИ ДО ЧЕТВЕРТОГО РОЗДІЛУ	58
5. РОЗДІЛ – РЕАЛІЗАЦІЯ.....	60
5.1. АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ «CAR VALI»;	60

5.1.1. Крок 1: Встановлення додаткового обладнання.....	60
5.1.2. Крок 2: Налаштування обладнання стенду;.....	63
5.1.3. Крок 3: Розробка корпусу стенду.....	68
5.1.4. Структурна схема та зовнішній вигляд «Car Vali».....	72
5.2. РЕАЛІЗАЦІЯ ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ	76
5.2.1. Сценарії взаємодії з віддаленим лабораторним стендом	76
5.2.2. Узагальнена структурно-алгоритмічна організація досліджуваної системи	77
5.2.3. Опис обмежень при розробці системи віддаленого керування.....	79
5.2.4. Реалізація концепції віддаленого керування	81
5.3. СТВОРЕННЯ WEB-СТОРІНКИ	84
5.3.1. Загальний підхід до створення веб сторінки на Raspberry Pi.	84
5.3.2. Налаштування відеопотоку з IP камери	85
5.4. ОПИС РЕАЛІЗОВАНОГО ІНТЕРФЕЙСУ	88
5.4.1. Доступ до експерименту.....	88
5.4.2. Інтерфейс лабораторної роботи.....	94
5.5. ВИСНОВКИ ДО П'ЯТОГО РОЗДІЛУ	99
6. РОЗДІЛ - ТЕСТУВАННЯ НА ВАЛІДАЦІЯ.....	102
7. ПОРЯДОК СТВОРЕННЯ СТЕНДУ З ВІДДАЛЕНИМ КЕРУВАННЯМ.....	109
7.1. РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО СТВОРЕННЮ СТЕНДУ З ВІДДАЛЕНИМ КЕРУВАННЯМ	109
7.2. ВИБІР ЕКСПЕРИМЕНТУ	109
7.3. ФОРМУВАННЯ МЕТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ	110
7.4. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	111
7.5. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ	112
8. РОЗДІЛ - ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ	113
8.1. Підсумок.....	113
8.2. ПЕРСПЕКТИВИ.....	114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	115

Список ілюстрацій:

Рис. 2.1 Діаграма використання CVA	16
Рис. 3.1 «Obstacle Avoiding Robot Car» або «Remote Control Car Kit» [2][3]	17
Рис. 3.2 Зовнішній вигляд Wifi Smart Car Robot Kit With Video Monitoring (SCR) [4]	19
Рис. 3.3 Функціональна схема роботи стенду «PID-control of the membrane compressor's pressure»	21
Рис. 3.4 Приклад побудови стенду на базі SCR [9]	24
Рис. 4.1 Зовнішній вигляд Arduino Uno	26
Рис. 4.2 Зовнішній вигляд та призначення виходів Raspberry Pi 4 Model B 8GB	29
Рис. 4.3 Корпус для Raspberry Pi 4 Model B з активним охолодженням	29
Рис. 4.4 Типи двигунів постійного струму з редуктором 1:48	30
Рис. 4.5 Двигун постійного струму з редуктором 1:48 (двох-осьовий) [10]	31
Рис. 4.6 Колесо з гумовим протектором D65x25 [11]	32
Рис. 4.7 Зовнішній вигляд та розпіновка давача струму та напруги INA219 [12]	35
Рис. 4.8 Оптичний енкодер та колесо з отворами [14]	37
Рис. 4.9 Оптичний енкодер та колесо з отворами [15] [16]	38
Рис. 4.10 Зовнішній вигляд та розпіновка драйвера двох двигунів L298N [17][18] ..	41
Рис. 4.11 Зовнішній вигляд та розпіновка Arduino Sensor Shield V 5.0 [19][20]	43
Рис. 4.12 Типова конструкція динамометричного стенду	45
Рис. 4.13 Зовнішній вигляд Li-ion батареї 18650	47
Рис. 4.14 IP-відеокамера Hikvision DS-2CD1021-I(F) (2.8 мм) [21]	49
Рис. 4.15 MikroTik hAP ac2 (RBD52G-5HACD2HND-TC) – 1 Гбіт/с)	52
Рис. 4.16 Зовнішній вигляд банерів Press Wall [22][23]	55
Рис. 5.1 Зовнішній вигляд SCR1	60
Рис. 5.2 Зовнішній вигляд SCR2	61
Рис. 5.3 Зовнішній вигляд прототипу CarVali де 1 – кнопка з фіксацією, 2 – акумуляторні батареї Panasonic 18650, драйвер двигунів L298N, 4 - Arduino Sensor Shield V5.0, 5 - давачі струму та напруги INA219, 6 – оптичні давачі швидкості, 7 – кнопка для налаштувань	62

Рис. 5.4 Схема з'єднання елементів прототипу CarVali Fritzing [24]	63
Рис. 5.5 Налагодження стенду Car Vali, де 1,2 – потенціометри керування, 3 – монтажні стійки, 4 – комунікаційний порт USB Type B (COM)	65
Рис. 5.6 Налаштування IP камери. Визначення дистанції та куту розміщення.	67
Рис. 5.7 Прототип корпусу CVA, де 1 – пластикові з'єднуючі елементи, 2 – натяжне кріплення, 3 – труби Press Wall, 4 – макет CVA з доданою пластиною з оргскла.	69
Рис. 5.8 Кріплення для труб Press Wall	69
Рис. 5.9 Корпус стенду Car Vali, де 1 – Rpi, 2 – металеві троси, 3 – кріплення для IP-Camera, 4 – перехідник кріплення камери.	70
Рис. 5.10 Перехідник для кріплення IP-Camera.....	71
Рис. 5.11 Пластикові опори з роликами	71
Рис. 5.12 Процес другу пластикових опор з роликами.....	72
Рис. 5.13 Склад обладнання стенду Car Vali	73
Рис. 5.14 Функціональна схема стенду Car Vali	73
Рис. 5.15 Схема електрична принципова стенду Car Vali.....	75
Рис. 5.16 Сценарії взаємодії	77
Рис. 5.17 Структурна організація досліджуваної системи.....	78
Рис. 5.18 Концепція віддаленого керування для Vali experiment.....	82
Рис. 5.19 Реалізація codes.html в MOODLE, який показує поточний код доступу	83
Рис. 5.20 Базова схема комунікації на різних архітектурних рівнях розробленої системи віддаленого керування	84
Рис. 5.21 Сторінка «Car Vali» на сайті Dnipro University of Technology	88
Рис. 5.22 Процес отримання доступу до CVA.....	90
Рис. 5.23 Черга на доступ CVA	92
Рис. 5.24 Звіт лабораторної роботи CVA	93
Рис. 5.25 Резервні вихідні дані виконання лабораторної роботи CVA	94
Рис. 5.26 Вкладка «Home» web-інтерфейсу керування CVA.....	95
Рис. 5.27 Вкладка «Experiment» web-інтерфейсу керування CVA.....	97
Рис. 5.28 Вкладка «Test» web-інтерфейсу керування CVA	98
Рис. 5.29 Вкладка «Save your work» web-інтерфейсу керування CVA.....	99

Рис. 5.30 Загальна структура стенду CVA.....	101
Рис. 6.1 Воркшоп Lab4All між «Reutlingen University», Germany та Dnipro University of Technology, Ukraine.....	108

Перелік умовних позначень

CVA - Car Vali

DCM – DC motor

IP - Internet protocol camera

SCR - Remote Control Car Kit

PCBP - PCB multifunctional 4WD platform

FPS - Frames per second

LAB - Laboratories Across Borders

Rpi - Single-board computer Raspberry Pi

I2C - Inter-Integrated Circuit

EV - Electric vehicle

1. Розділ - Анотація

Створення лабораторного стенду з віддаленим керуванням "Car Vali"(CVA) є частиною проекту "(LAB4All – Open Access Cyber-Physical Laboratories for Ukrainian Universities)" (10.2022 – 12.2023) який виконується у співпраці між університетом «Reutlingen University», Germany та Dnipro University of Technology, Ukraine.

Створення подібних стендів дозволяє суттєво розширити та урізноманітнити перелік обладнання, яке доступне для здійснення лабораторного практикуму, що неодмінно допоможе сформувати прикладні інженерні навички шляхом закріплення теоретичного матеріалу на практиці.

Створення стендів з віддаленим керуванням дозволяє вирішити ряд суттєвих проблем, які постають перед університетами та студентами у реаліях сьогодення, а саме:

- Бюджетні обмеженнями на закупку коштовного обладнання для робототехніки, мехатроніки та автоматичного керування;
- Урізноманітнення переліку обладнання для експериментальних досліджень;
- Відсутність потреби створювати дуплексні лабораторні установки;
- Відсутність можливості у студентів бути присутніми на лабораторному практикумі через обмеження, що викликані рядом обставин: Covid-19, військовими діями та вимушеною еміграцією з тимчасово окупованих територій.

Грантовий проєкт від Німецької служби академічних обмінів (DAAD) в рамках програми “Підтримка інтернаціоналізації українських університетів: Формуємо цифрове майбутнє разом” (Unterstützung der Internationalisierung ukrainischer Hochschulen: Digitale Zukunft gemeinsam gestalten). Проєкт "(LAB4All – Open Access Cyber-Physical Laboratories for Ukrainian Universities)" рекламує оголошення з трьома лініями фінансування та двома періодами фінансування, що підтримує інтернаціоналізацію українських університетів.

Фінансування здійснюється Deutscher Akademischer Austauschdienst (German Academic Exchange Service) and Bundesministerium für Bildung und Forschung (Federal Ministry of Education and Research). в період 01.02.2019 - 31.12.2024.



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Deutscher Akademischer Austauschdienst
German Academic Exchange Service

Проект переслідує наступні цілі:

- Сприяння інтернаціоналізації українських та німецьких університетів шляхом консолідації існуючої та започаткування нової співпраці.
- Тісніший зв'язок української вищої освіти та дослідницького простору з європейськими структурами.
- Поліпшення існуючих віддалених лабораторних робіт у галузі робототехніки, мехатроніки та автоматичного керування.
- Розробка новітніх підходів до навчання з елементами гейміфікації.
- Поширення досвіду створення віддалених лабораторних робіт серед українських вишів.

В рамках проекту заплановані наступні заходи:

- Розробка концепції студентських експериментів для дистанційних лабораторних робіт.
- Визначення технології створення стендів віддаленого керування.
- Встановлення технічних засобів, а також інфраструктури для проведення віддалених лабораторних робіт з врахуванням сучасних вимог до безпеки.
- Проведення семінарів та воркшопів для студентів та молодих вчених в обох університетах партнерах, та серед українських вишів, для обміну науковими знаннями та практичної апробації лабораторних експериментів.

На попередніх стадіях проекту з боку Dnipro University of Technology вже було створено лабораторний стенд «Remote Laboratory Experiment PID-control of the membrane compressor's pressure», який присвячений налаштуванню пропорційно-

інтегрально-похідного регулятора (ПІД-регулятора) для мембранного компресора з частотним приводом. Сторінка з описом експерименту доступна за посиланням:

URL: <https://elprivod.nmu.org.ua/en/RLE/index.php>

З боку «Reutlingen University» було розроблено ряд експериментів з віддаленим керуванням:

- Process Optimisation in Manufacturing.
- Analysis of the movement behaviour of an articulated arm robot.
- Control and program a handling system.
- Flying Ball.
- DC Machine.
- Elevator.

Додаткову інформацію про вказані експерименти та всі актуальні новини проекту Laboratories Across Borders (LAB) можна знайти на офіційній сторінці:

URL: <https://www.lab-project.eu>

На сьогоднішній день виробництва поступово трансформуються та модернізуються впроваджуючи технології віддаленого керування в процес виробництва. Виклики, які ставить перед нами сьогодення змушує переносити доступ до вузлів керування та моніторингу за технологічними об'єктами у хмарне середовище.

Розробка подібних наукових стендів та поширення технології їх створення серед Українських, та загалом Європейських, вишів мають на меті підготувати спеціалістів, які спроможні обслуговувати різноманітні промислові механізми та машини масштабуючи отримані знання при роботі зі стендами віддаленого керування. Що в свою чергу спонукає розвиток "Industry 4.0". Розширення та урізноманітнення дослідницьких стендів дозволить випускати кваліфікованих кадрів, що володіють широким спектром навичок в даному напрямку.

2. Розділ - Вступ

Метою даного проекту є створення лабораторного стенду з віддаленим керуванням «Car Vali» (CVA), який буде використовуватись для дослідження динаміки руху спрощеної моделі легкового автомобільного транспорту, в задачах мехатроніки, з можливістю оцінки перехідних процесів у DC Motor (DCM). Дана робота описує реалізацію проекту з вказанням основних засад та технологій створення власного стенду з віддаленим керуванням.

2.1. Цілі проекту

Головними задачами проекту CVA є створення стенду з можливістю віддаленого керування, що дозволить оцінити динаміку руху та перехідні процеси, що відбуваються у DCM спрощеної моделі електромобільного транспорту на базі вдосконаленої моделі «Obstacle Avoiding Robot Car» або «Car Vali Robot Kit». Розроблений експериментальний стенд стане частиною вже існуючих лабораторних стендів з віддаленим доступом, що були створені в рамках проекту Laboratories Across Borders (LAB). Готовий стенд стане частиною практичного курсу з дисциплін «Мехатронні комплекси та системи» та «Системи автоматичного керування». Практична реалізація проекту покладена на партнерів від Dnipro University of Technology.



проф. Сергій Худолій – координатор від Дніпровської політехніки
проф. Олександр Азюковський
проф. Олександр Бешта
доц. Олександр Балахонцев
доц. Олександр Бешта мол.

доц. Роман Боровик доц. Дар'я Букреєва асп. Тарас Халаїмов асп. Станіслав Шихов
--

Сформована концепція лабораторного стенду CVA повинна забезпечувати функціональну безпеку (бути безпечною для користувачів та оточення), ІТ-безпеку та мати підготовлену інфраструктуру для успішного та безперервного проведення лабораторних робіт. Доступ до дослідницького стенду повинен здійснюватися лише для авторизованих користувачів: студентів, викладачів та співробітників вишів партнерів Reutlingen University та Dnipro University of Technology.

Проведення експерименту повинно виконуватись з дотриманням всіх вимог безпеки, не становити загрози для здоров'я оточуючих та матеріальної бази університету. Стенд повинен бути автономним та безпечно здійснювати роботу без нагляду. Відповідати нормам, правилам та вимогам використання та експлуатації енергоустановок, пожежної безпеки та охорони праці.

Контроль за виконанням лабораторних робіт повинен здійснюватися засобами само тестування та автоматичного формування звіту.

2.2. Вимоги до проекту

Для розробки стенду з віддаленим керуванням необхідно визначитись зі складом та переліком лабораторних робіт, які зможуть бути легко інтегровані в існуючі навчальні програми дисциплін вузів партнерів, такі як «Мехатронні комплекси та системи» та «Системи автоматичного керування». Створені лабораторні роботи повинні відповідати тематиці вказаних дисциплін та легко інтегруватись у існуючий лекційний матеріал.

Основні вимоги до проекту CVA наступні:

- Експеримент повинен бути доступним 24 години на добу 7 днів на тиждень.

- Технічне обслуговування досліджуваного стенду повинно бути мінімальним або не потребуватись зовсім.
- Проведення експерименту повинно бути беззбитковим. Не беручи до уваги експлуатаційні витрати на електроенергію тощо.
- Затримка під час здійснення дистанційного керування повинна бути мінімальною.
- Веб додаток повинен бути доступним для користувачів в режимі онлайн без використання додаткового програмного забезпечення на наступних приладах: ноутбук, настільний ПК, планшет, смартфон.
- Експеримент повинен містити визначені часові рамки. Для забезпечення можливості виконання експерименту всіма учасниками певної академічної групи, час проведення не повинен перевищувати 15 хв.
- Експеримент повинен бути відтворюваним. Після виконання одного повного циклу дослідження – система повинна повертатись у вихідне положення.
- Для створення можливості безперервного доступу до стенду необхідно забезпечити стійкість до поламок конструкційних елементів, а також виникнення різноманітних помилок в алгоритмі роботи самого стенду та віддаленого інтерфейсу керування.
- Проведення експерименту повинно виконуватись з врахуванням чинних вимог до охорони праці.
- Конструкція стенда повинна бути розроблена з врахуванням засад функціональної безпеки.
- Проведення експерименту не повинно нашкодити ні людям ні матеріальним речам в зоні його проведення. В разі виникнення помилок в роботі стенду слід передбачити механізм його екстреної зупинки з можливістю від'єднання від управління за допомогою віддаленого доступу.
- Віддалений доступ до стенду повинен враховувати стандарти безпеки даних щодо конфіденційності, цілісності та ідентичності, які висувають вищі партнери.

- Контроль доступу до експерименту повинен налаштовуватись таким чином, щоб тільки один користувач міг працювати з експериментом в певний момент часу. Для цього у веб додатку необхідно передбачити кнопку управління запитом, яка слугуватиме для запиту контролю над експериментом.
- Для управління доступом має бути реалізована головна система управління чергою.
- Під час проведення дослідження поточні експериментальні дані з досліджуваного об'єкта повинні відображатись у веб додатку в режимі реального часу.
- Для здійснення візуального зворотного зв'язку про стан об'єкту дослідження необхідно використовувати камеру (веб-камеру або IP (Internet protocol camera) камеру), що транслюватиме зображення в режимі реального часу на веб-сторінку віддаленого керування.
- Система дистанційного керування повинна бути модульною та уніфікованою, для можливості адаптації до нових експериментів або використанні з іншим об'єктом дослідження.
- Для обміну даними між лабораторною установкою та користувачем слід використовувати стандартизовані веб-протоколи, які регламентовані Standard for Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories (IEEE 1876-2019) [1], а саме: HTTP і WebSockets.
- Для формування оцінки виконання дослідження необхідно передбачити можливість збереження результатів експерименту, отримані клієнтом, у форматі pdf засобами створеного веб-додатку.
- Створений експеримент повинен бути забезпечений посібником та методичними вказівками (англійською мовою), з метою пояснення алгоритму його виконання та адаптації матеріалу до застосування у навчальному процесі вишами партнерами.

На рис.2.1 Наведено діаграму використання CVA, яка демонструє взаємозв'язок між складовими частинами та суб'єктами лабораторної установки в ході виконання експерименту.

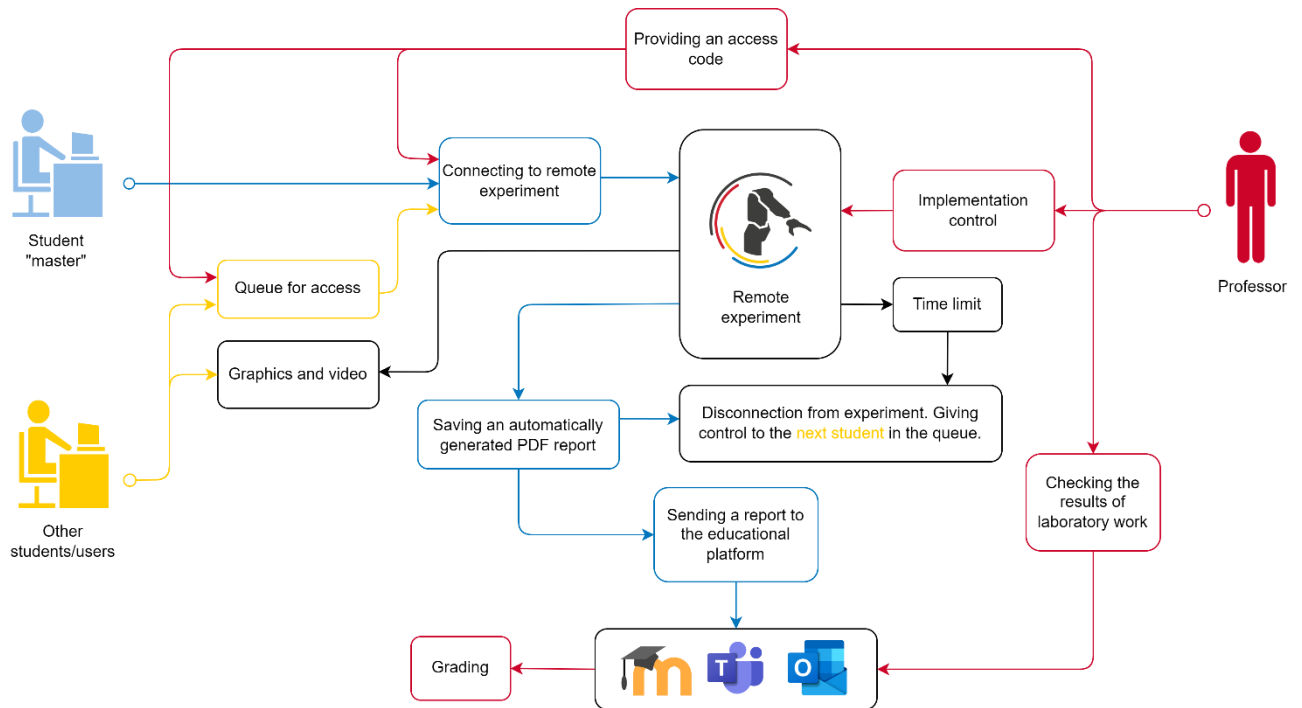


Рис. 2.1 Діаграма використання CVA

3. Розділ - Постановка задачі

Створення стенду віддаленого керування CVA дозволить оцінити динаміку руху спрощеної моделі електромобільного транспорту та перехідних процесів у DCM шляхом вдосконаленої типової розповсюдженої моделі електронного конструктора, яка працює на базі платформи Arduino, а саме «Obstacle Avoiding Robot Car» або «Remote Control Car Kit» (SCR) Рис. 3.1.

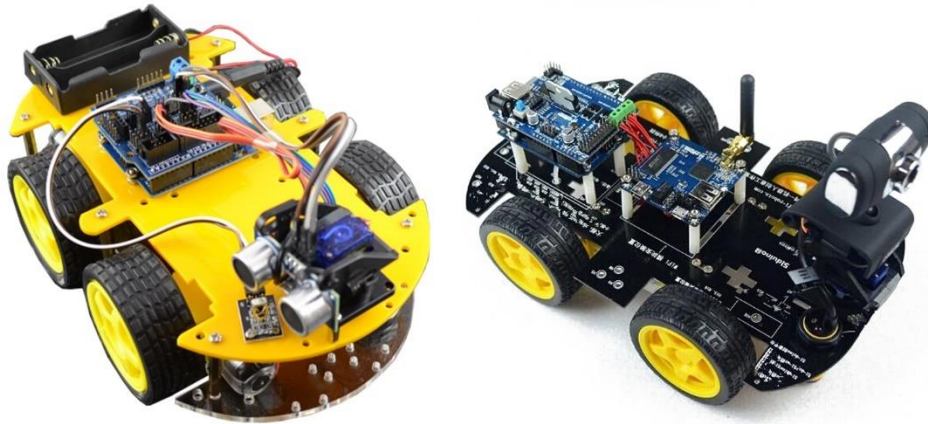


Рис. 3.1 «Obstacle Avoiding Robot Car» або «Remote Control Car Kit» [2][3]

На базі SCR у світі створюється велика кількість різноманітних проектів, які в основному відрізняються набором комплектуючих, а саме: контролером, типом встановлених датчиків, драйверами двигунів, системою живлення, наявністю/відсутністю віддаленої системи керування тощо. В загальному сенсі SCR представляє з себе електричний конструктор, елементи якого закріплюються на акриловий або текстолітовий PCB multifunctional 4WD platform (PCBP) Рис. 3.1.

Для виконання цілей проекту необхідно провести аналіз існуючого зразка SCR та визначитись з переліком додаткового обладнання:

- Обрати систему керування SCR, яка відрізняється простою комунікацією з його додатковим обладнанням, економічністю, модульністю, широкими можливостями для розширення та широким набором інтерфейсів передачі даних.

- Обрати модель DCM, яка задовольнятиме цілі експерименту та матиме можливість легкого вимірювання швидкості обертання двигуна за рахунок його конструктивних особливостей.
- Спираючись на обраний DCM обрати модель DC Motor Driver, що здатен реалізувати необхідні для експерименту режими роботи та може забезпечити необхідну потужність для стабільної роботи DCM.
- Обрати давачі, які будуть здатні вимірювати струм та напругу DCM з достатньою точністю для адекватної оцінки перехідних процесів, що виникають в них.
- Визначитись з методом вимірювання швидкості обертання DCM ,зважаючи на їх конструктивні особливості, та обрати відповідні давачі.
- Обрати спосіб живлення SCR..

Для здійснення віддаленого керування даним CVA необхідно обрати пристрій, який буде слугувати в якості сервера для відображення веб-сторінки експерименту, та матиме легку та зручну комунікацію з обраною системою керування SCR. Пристрій повинен відповідати наступним вимогам: низька вартість, енергоефективність, компактність та портативність, спрощений процес налаштування, поширеність серед користувачів, можливості розширення функціональності.

Для здійснення візуального контролю за ходом виконання експерименту необхідно обрати камеру, що здатна працювати в режимі 24/7 та забезпечувати безперервну відео-трансляцію роботи стенду. Камера повинна задовольняти наступні вимоги: наявність зручного інтерфейсу налаштування камери, висока якість та роздільна здатність зображення (HD, Full HD), оптимальна кількість frames per second (FPS), легка інтеграція вихідного потоку даних у веб-сторінку віддаленого керування стенду, наявність готової інфраструктури для швидкого фізичного під'єднання обраної камери.

Конструкція стенду повинна відповідати чинним нормам, правилам та вимогам використання та експлуатації енергоустановок, пожежної безпеки та охорони праці. Функціональна безпека має дотримуватись за рахунок конструкції стенд, на якому буде розміщено об'єкт дослідження. Оскільки SCR являє собою зменшену копію

автомобільного транспорту – слід передбачити конструкцію таким чином, щоб об'єкт знаходився постійно у зоні видимості обраної камери та мав змогу бути повністю відтвореним, з точки зору повернення у одне і те саме задане вихідне положення.

Зважаючи на необхідність надання цілодобового доступу до експерименту – необхідно передбачити конструктивну можливість встановлення додаткового освітлювального обладнання.

3.1. Аналіз поточного стану обладнання

Стенд CVA буде побудовано на основі існуючого об'єкта SCR (Рис. 3.2) що знаходиться в Dnipro University of Technology. Даний об'єкт в минулому активно використовувався студентами для виконання типових проектів, на які розрахований вказаний SCR у стандартній комплектації, перелік якої наведено у Таблиця 3.1. Для побудови CVA необхідно сформулювати вимоги до обладнання стенду беручи до уваги наявну комплектацію.

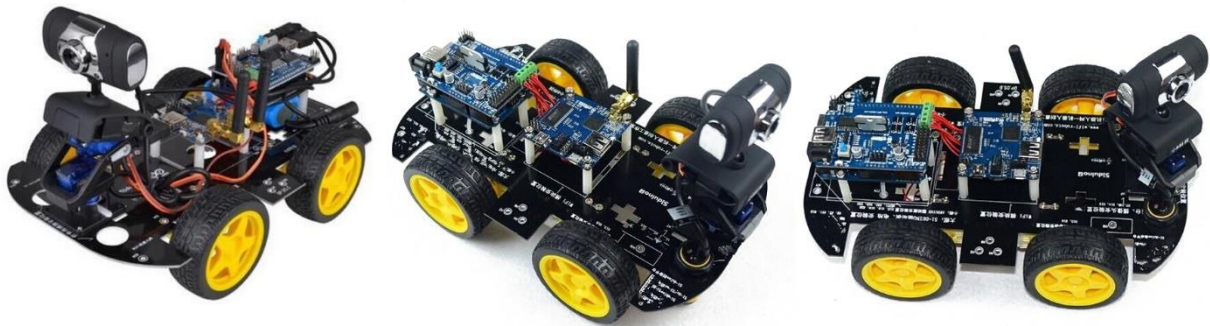


Рис. 3.2 Зовнішній вигляд Wifi Smart Car Robot Kit With Video Monitoring (SCR) [4]

Таблиця 3.1

Комплектація існуючого SCR

Name	Unit	Q-ty
Arduino Nano Rev. 3 driving board	pcs	1
PWR DC Motor Driver Shield for Arduino Nano DCM	pcs	1
Robot-Link 4.0 AR HD WIFI video transmitter module, external antenna 2db	pcs	1
EMC TT motor з редуктором 1:48 (двох-осьовий) (DCM)	pcs	4
Solid rubber wheel	pcs	4
PCB multifunctional 4WD Chassis	pcs	1
Robot eyes WIFI robot HD camera	pcs	1

3.2. Поточний стан віддаленого доступу

Для існуючої SCR раніше не було сформовано та реалізовано концепцію віддаленого керування для проведення лабораторних робіт. Досвід створення лабораторних стендів з віддаленим керування раніше було отримано при створенні стенду «PID-control of the membrane compressor's pressure» [5] в Dnipro University of Technology, що був реалізований в рамках проекту Laboratories Across Borders (LAB). В стенді було використано SCADA-систему з вбудованим веб-сервером Web-HMI [6] для реалізації віддаленого керування об'єктом дослідження. Функціональна схема роботи стенду наведена на Рис. 3.3.

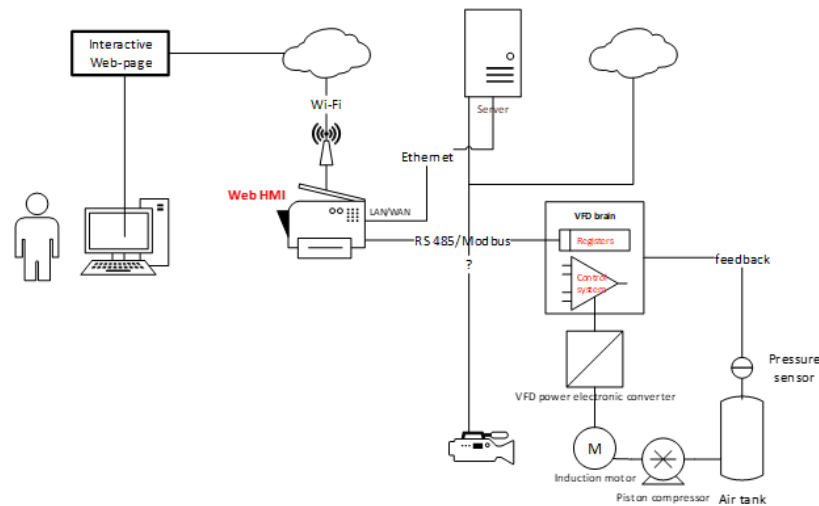


Рис. 3.3 Функціональна схема роботи стенду «PID-control of the membrane compressor's pressure»

Колегами із Reutlingen University було реалізовано ряд проектів по створенню лабораторних стендів з віддаленим керуванням. Для їх побудови використовувались як промислові контролери, так і системи на одноплатних комп'ютерах. Наприклад проектах Flying Ball [7] та Elevator використовували Single-board computer Raspberry Pi (Rpi) в якості комунікаційної платформи та сервера. На базі якої було створено інтерфейс віддаленого керування з можливістю автоматичної генерації звіту по закінченню виконання лабораторної роботи.

3.3. Вимоги до обладнання

Виконавши аналіз наявного обладнання моделі SCR можна зробити наступні висновки щодо доцільності його використання:

1. Існуюча система керування SCR на базі Arduino Uno Rev. 3 задовольняє вимогам, що були описані в 2.1. Тож може бути застосована для реалізації стенду CVA.
2. Шилд «PWR DC Motor Driver Shield for Arduino Nano DCM» має ряд суттєвих недоліків, які пов'язані з конструкційними особливостями, не вдалими схемотехнічними рішеннями та проблемами з перегрівом під час тривалої роботи. Необхідно виконати вибір більш досконалого драйвера DCM зі схожим функціоналом

3. Пристрій для передачі відеосигналу для робототехнічних пристроїв «Robot-Link 4.0 AR HD WIFI video transmitter module, external antenna 2db», є вдалим рішенням у випадку використання його у не складних системах для трансляції відеосигналу. У випадку застосування в парі з роботом машиною або дроном на невелику відстань у форматі HD через бездротову мережу Wi-fi засобами "External antenna» потужністю 2db". Зважаючи на вимоги до CVA, одною з яких є наявність цілодобового доступу до об'єкту зі стійким та безперервним з'єднанням з відображенням зображення з високою роздільністю (HD, Full HD). Можна зробити висновок, що застосування існуючого модуля «Robot-Link 4.0» з комплектною камерою «Robot eyes WIFI robot HD camera» є не доцільними через наступний ряд проблем: затримка сигналу, обмежена дальність передачі, системні вимоги та низька якість зображення. Необхідно обрати інше, більш надійне, рішення для налагодження відео-трансляції роботи стенду.
4. Двигуни DCM «EMC TT motor з редуктором 1:48 (двох-осьовий) (DCM)» є доволі розповсюдженою моделлю, що використовується у подібних моделях SCR. Основні переваги: наявність стандартних засобів кріплення до РСВР, невелика вартість, наявність конструкційних рішень для простого вимірювання частоти обертання, сумісність з стандартними колесами «Solid rubber wheel». Недоліками можна вважати: незначну відмінність у частоті обертання однотипних двигунів, не висока якість, мала кількість змазки на редукторі двигуна, не велика механічна жорсткість та довговічність клем. Зважаючи на переваги можна вважати доцільним використання даних DCM для побудови стенду.
5. Платформа РСВР, на якій розташоване все обладнання SCR [3], виконана з текстоліту з декоративним покриттям чорного кольору. Перевагами даної платформи є: жорсткість конструкції, невелика вага, наявність більшості необхідних отворів для становлення різноманітного обладнання та естетичний зовнішній вигляд. Оскільки переваги використання типової прозорої (акрилової) платформи як в [2] не значні або відсутні – доцільно зупинитись на текстолітовому варіанті РСВР.

Оцінивши наявне обладнання та поточний стан віддаленого доступу. Беручи до уваги досвід реалізації попередніх проектів було визначено, що для досягнення поставлених задач буде достатньо використання однопалатного комп'ютера. Який буде використовуватись в якості сервера для розміщення сторінки експерименту та обміну даними з обраною системою керування.

3.4. Вимоги до конструкції стенду

Під час створення конструкції навчального стенду необхідно дотримуватись раніше вказаних вимог та врахувати наступні критерії:

1. Платформа для розміщення «CVA» повинна бути міцною та достатньо важкою, щоб уникнути випадкового перекидання, руху або вібрації під час роботи.
2. Для більш легкого візуального сприйняття процесу виконання експерименту - необхідно розробити конструкцію стенду з наглядною (прозорою) будовою. Подібна конструкція вільно спостерігати та керувати стендом з різних кутів, забезпечити доступ до всіх його елементів для обслуговування чи можливої модифікації.
3. З метою зменшення габаритів установки слід передбачити на ній місце для закріплення камери під оптимальним кутом, який би повністю охоплював досліджуваний об'єкт та дозволив би без перешкод оцінити хід виконання дослідження.
4. Необхідно передбачити зовнішні захисні елементи на корпусі, які б дозволили уникнути випадкового пошкодження CVA або переривання ходу дослідження.
5. Доступ до джерела живлення та комунікаційних мереж повинені розміщуватись як можна ближче до стенду.
6. Передбачити місця для розміщення додаткового освітлення під оптимальним, з точки зору відеозйомки, кутом з метою уникнення засвітлень та бліків на поверхні стенду.

7. Для забезпечення оптимального охолодження обладнання конструкція повинна бути продуваною, мати систему охолодження або вентиляції.

Один з прикладів створення системи фіксації SCR для наукового стенду з дослідження перехідних процесів у DCM показано на Рис. 3.4. Автори проекту [8] використовують акрилові стійки з магнітами, для фіксації SCR на певному рівні відносно поверхні, з метою запобігання її руху. Характер перехідного процесу при цьому фіксується за допомогою зовнішніх осцилографів.

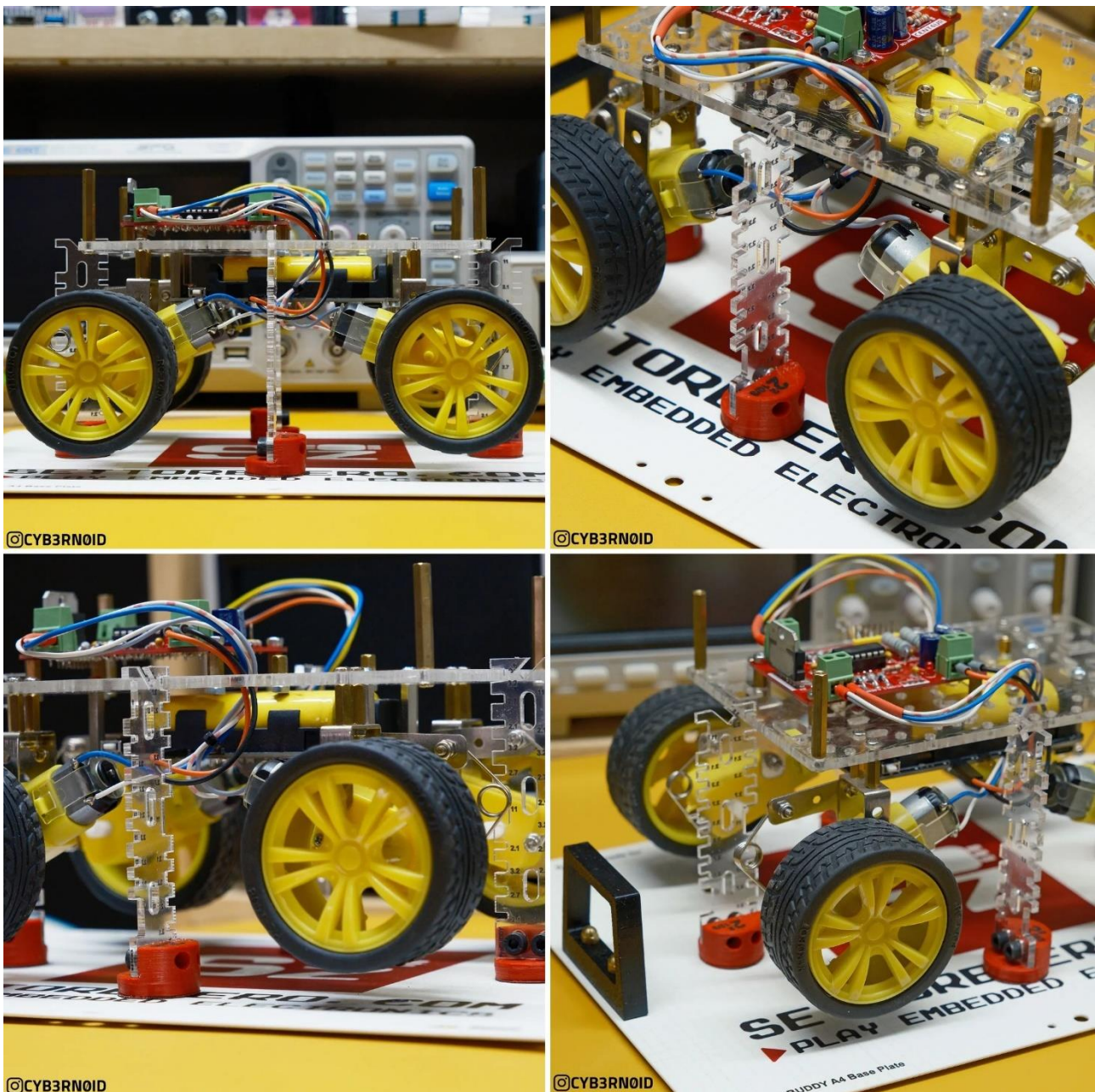


Рис. 3.4 Приклад побудови стенду на базі SCR [9]

3.5. Висновки до третього розділу

Спираючись на виконаний аналіз наявного обладнання, стан віддаленого доступу та сформовані вимоги до обладнання можна зробити наступні висновки:

1. Частина наявного обладнання SCR Dnipro University of Technology частково задовольняє вимогам проекту та може бути використана для реалізації «CVA»;
2. Для повної відповідності вимогам проекту необхідно обрати ряд додаткового обладнання: систему керування, комунікаційну платформу, двигун постійного струму (DCM), датчик струму та напруги, датчик швидкості, драйвера двигунів, камеру, прилади освітлення, матеріали корпусу та навантажувального пристрою.

4. Розділ – Вибір обладнання

4.1. Вибір системи керування та інтерфейсу підключення

Провівши аналіз існуючих на ринку рішень, серед систем на базі мікроконтролерів, в якості системи керування стендом CVA було обрано мікроконтролер Arduino Uno. Загалом платформа Arduino визначається як відкрите апаратне та програмне забезпечення, спроектоване для спрощення розробки електронних пристроїв. Його гнучкість та доступність роблять його ідеальним вибором для створення наукових стендів. Платформа забезпечує легкий доступ до різноманітних сенсорів, модулів та інтерфейсів, що сприяє розширенню функціональності стенду. Крім того, активна спільнота розробників сприяє обміну ідеями та розробці власних рішень.

Завдяки відкритості коду та документації, ардуіно стає доцільним вибором для наукових досліджень, де важлива не лише готова функціональність, але й можливість глибокого розгортання та адаптації. Його простий інтерфейс та висока поширеність роблять його гарним інструментом для створення наукових стендів, що вимагають швидкого прототипування та ефективного впровадження ідей. Основні технічні характеристики Arduino Uno (Рис. 4.1) зведено у Таблиця 4.1.



Рис. 4.1 Зовнішній вигляд Arduino Uno

Технічні характеристики Arduino Uno

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	ATmega328P
Робоча напруга	5 Вольт
Напруга живлення	7-12 Вольт (рекомендовано)
Цифрові входи/виходи	14 (з них 6 можуть бути PWM)
Аналогові входи	6
Вбудована пам'ять	Flash - 32 КБ, SRAM - 2 КБ
Тактова частота	16 МГц
Інтерфейс USB	Так
UART (Серійний порт)	Так
I2C, SPI	Так
Розміри	68.6 мм x 53.4 мм
Вага	Приблизно 25 г
Переривання	Внутрішні та зовнішні
Швидкість передачі через USB	115200 біт/с
Живлення від батареї	Так (за допомогою відповідного модуля)
EEPROM (необхідність зберігання постійних даних)	1 КБ

4.2. Вибір комунікаційної платформи

Для реалізації задач віддаленого керування стендом «CVA» важливо обрати надійну платформу, яка буде забезпечувати швидкий та стабільний зв'язок з віддаленим експериментом та буде володіти широким та гнучким функціоналом.

Розглядаючи Ррі 4 порівняно з іншими подібними одноплатними комп'ютерами, важливо врахувати кілька ключових параметрів для обґрунтованої оцінки їх ефективності. Однією з важливих характеристик є обчислювальна

потужність, і в цьому плані Rpi вирізняється високою продуктивністю за рахунок використання потужних процесорів та оптимізованої архітектури. Ще однією перевагою Rpi є наявність різноманітних вбудованих інтерфейсів, таких як HDMI, USB, Ethernet, що дозволяє легко інтегрувати його з різними пристроями та розширювати функціональність системи.

У порівнянні з конкуруючими одноплатними комп'ютерами, такими як BeagleBone, Odroid, NVIDIA Jetson Nano та Orange Pi, Rpi виділяється своєю великою розширюваністю, високою гнучкістю використання, великою спільнотою розробників та наявністю документації, що робить його переважачим вибором серед подібних рішень.

Використання Arduino Uno в парі з Rpi для створення наукового стенду має кілька переваг. По-перше, Rpi забезпечує потужний веб-сервер та високу обчислювальну потужність, що дозволить ефективно відтворювати та відображати дані експерименту на віддаленій інтернет-сторінці.

Також однією з переваг є простота взаємодії між Arduino та Rpi через COM порт. Це дозволяє ефективно передавати дані між мікроконтролером та одноплатним комп'ютером, забезпечуючи стабільну комунікацію для збору та передачі даних.

Зважаючи на вказані переваги в якості комунікаційної платформи було обрано Raspberry Pi 4 Model B 8GB (Rpi 4) (Рис. 4.2).

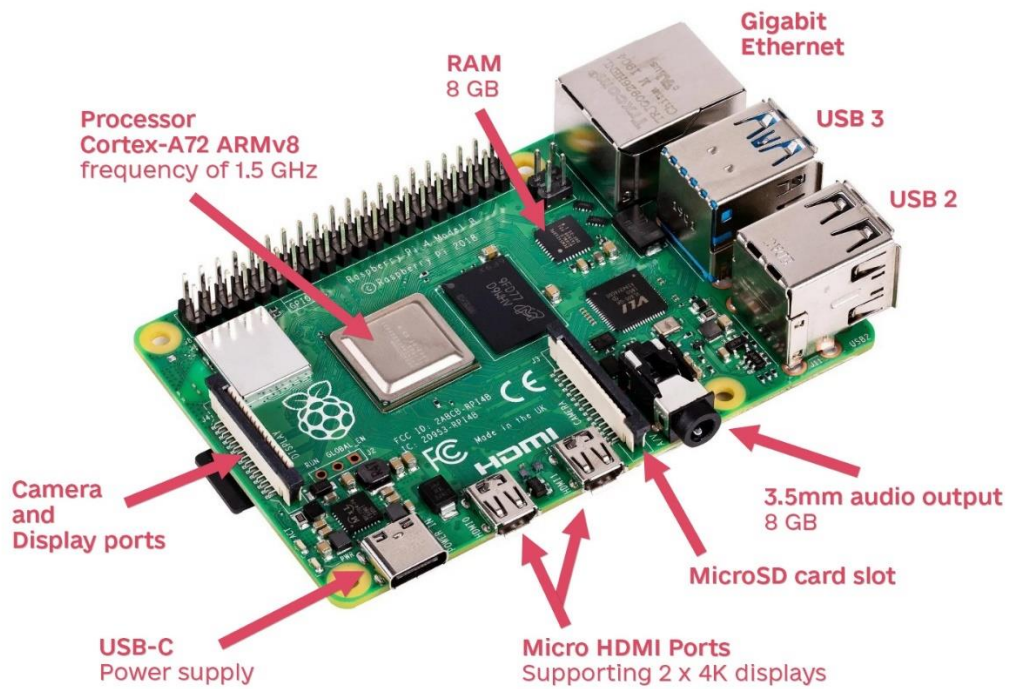


Рис. 4.2 Зовнішній вигляд та призначення виходів Raspberry Pi 4 Model B 8GB

З метою зменшення нагріву при забезпеченні безперервної роботи стенду було обрано корпус для Raspberry Pi 4 Model B, який представляє з себе радіатор з активним охолодженням, що виконується засобами двох вбудованих кулерів (Рис. 4.3).

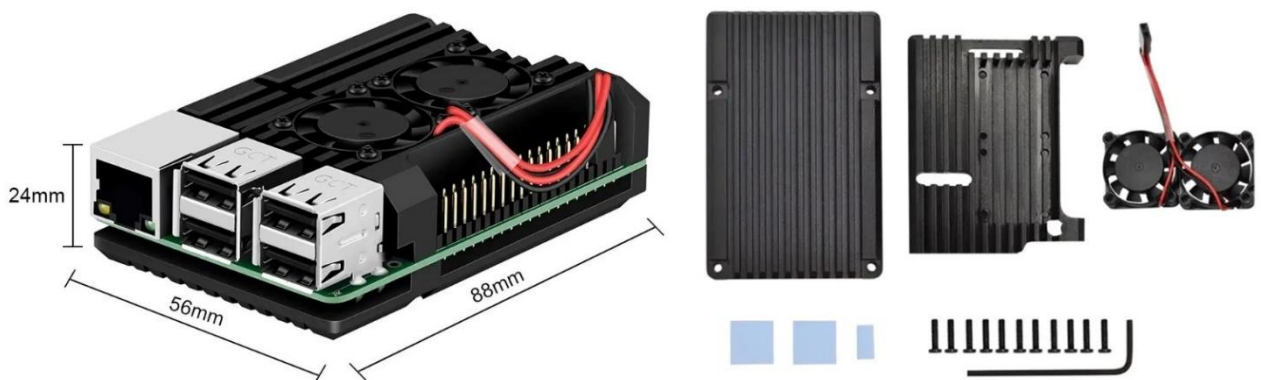


Рис. 4.3 Корпус для Raspberry Pi 4 Model B з активним охолодженням

Для роботи та налаштування Ррі 4 також потребує наявності додаткового обладнання. Список обраного обладнання наведено нижче:

- Карта пам'яті Raspberry Pi NOOBS MicroSD Cards 32Gb.
- Блок живлення Raspberry Pi 4 Model B.
- Micro HDMI-HDMI кабель для Raspberry Pi 4 Model B, чорний (2 метра).
- Клавіатура Raspberry Pi Keyboard.
- Миша Raspberry Pi Mouse.
- Кабель USB Type A-Type B 30см.

4.3. Вибір двигуна постійного струму

Типові найрозповсюдженіші SCR мають отвори для кріплення стандартних двигунів постійного струму з редуктором 1:48, які відрізняються будовою (пряма чи г-образний) та кількістю осей (одно чи двохосьові) (Рис. 4.4).

Для реалізації проекту було обрано 4 двигуни постійного струму з редуктором 1:48 (двох-осьовий) (Рис. 4.5) спираючись на наступні чинники:

- задовільні технічні характеристики, які наведені нижче у таблиці 1.1;
- розповсюдженість у проектах на базі SCR;
- просте встановлення через наявність стандартних кріплень до SCR;
- наявність двох осей, які мають стандартні посадочні місця під колеса та давачі швидкості;
- низька ціна та простота заміни;



Рис. 4.4 Типи двигунів постійного струму з редуктором 1:48

Характеристики двигуна постійного струму з редуктором 1:48

Номінальний струм при напрузі 3,6 В	250 мА
Напруга живлення	6 - 8 В
Швидкість обертання без навантаження при напрузі 3,6 В	170 об/хв
Передаточне число редуктора	1:48
Конструкційні особливості	Осі виходять з двох сторін
Діаметр осей	5 мм
Розміри	64x20x20 мм
Вага	26 г

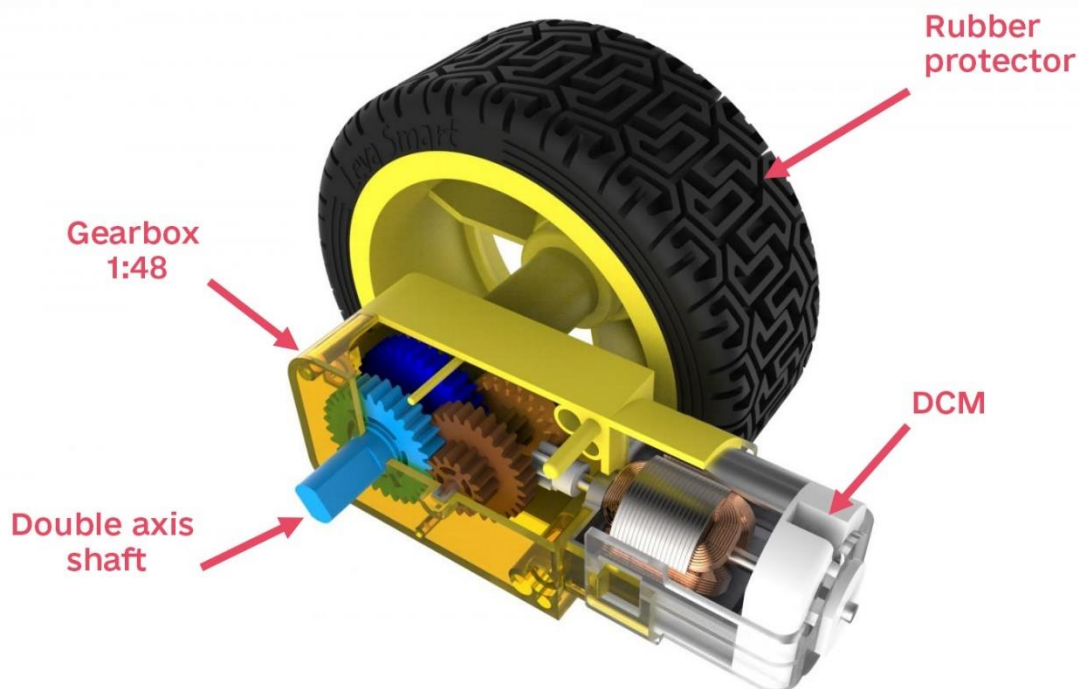


Рис. 4.5 Двигун постійного струму з редуктором 1:48 (двох-осьовий) [10]

Для обраного типу двигуна необхідно обрати колесо з протектором. Оскільки SCR не буде торкатись підлоги, що виключає фактор тертя колеса о поверхню під час руху, вибір товщини або малюнку протектора не є доцільним.

Для обраних DCM було обрано стандартні комплектні колеса D65x25 Рис. 4.6 з гумовим протектором, характеристики яких наведено в Таблиця 4.3.

Таблиця 4.3

Характеристики колеса з гумовим протектором

Діаметр	65 мм
Ширина	28 мм
Вага	38 г



Рис. 4.6 Колесо з гумовим протектором D65x25 [11]

4.4. Вибір давача струму та напруги

З метою дослідження перехідних процесів, що виникають в DCM необхідно обрати давач струму та напруги. У світі відома велика кількість давачів, що відрізняються за наступними критеріями:

- Інтерфейс підключення;
- Діапазон вимірювання струму та напруги;
- Тип напруги та струму (AC або DC);
- Точність вимірювання;

Розділ 4. Вибір обладнання

- Роздільна здатність давача;
- Швидкість вимірювання;
- Наявність автоматичного калібрування;
- Розміщення давачів струму та напруги в одному пристрої;
- Зручність інтеграції з Arduino та розповсюдженість серед спільноти розробників.

У Таблиця 4.4 наведено порівняльну таблицю найбільш популярних на ринку моделей давачів.

Порівняльний огляд різних давачів струму та напруги

Параметр	INA219	ACS712	ACS758	PZEM-004T	ZMCT103C
Інтерфейс підключення	I2C/SMBus	Analog Voltage Output	Analog Voltage Output	Serial (RS-485)	Analog Voltage Output
Діапазон вимірювання струму	$\pm 3.2\text{A}$, $\pm 20\text{A}$, $\pm 100\text{A}$	$\pm 5\text{A}$, $\pm 20\text{A}$, $\pm 30\text{A}$	$\pm 50\text{A}$, $\pm 100\text{A}$	0-100A (split-core)	30A/5V (current transformer)
Діапазон вимірювання напруги	0-26V	N/A	N/A	80-260V AC (split-core)	N/A
Тип напруги та струму	DC	DC	DC	AC	AC
Точність вимірювання	$\pm 0.5\%$ (INA219)	$\pm 1.5\%$ (ACS712)	$\pm 1.5\%$ (ACS758)	$\pm 1\%$ (Voltage), $\pm 1\%$ (Current)	$\pm 2\%$
Роздільна здатність	1mA (Current), 4mV (Voltage)	185mV/A (ACS712)	40mV/A (ACS758)	1mA (Current), 0.1V (Voltage)	N/A
Швидкість вимірювання	Up to 3.4kHz (INA219)	N/A	N/A	2s (PZEM-004T V2), 1s (V3)	N/A
Автоматичне калібрування	Так	Hi	Hi	Hi	Hi

Розміщення давачів в одному пристрої	Так	Так	Так	Так	Ні
Інтеграція з Arduino	Підтримує вся	Підтримує вся	Підтримує вся	Підтримує вся	Підтримує вся
Розповсюджен ість серед спільноти	Висока	Висока	Висока	Середня	Середня

Виконавши порівняльний аналіз доступних на ринку давачів струму та напруги було обрано давач INA219 (Рис. 4.7), характеристики якого зведено в Таблиця 4.5.

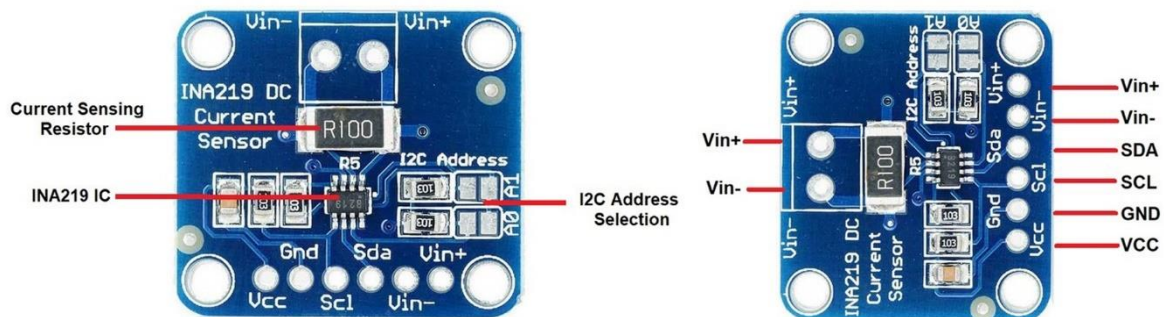


Рис. 4.7 Зовнішній вигляд та розпіновка давача струму та напруги INA219 [12]

Таблиця 4.5

Характеристики давача струму та напруги INA219 з шиною I2C [13]

Напруга живлення	3 – 5 В
Максимальний вимірюваний струм	3,2 А
Точність вимірювання струму	0,8мА
Роздільна здатність вимірювача	12-біт
Інтерфейс	I2C
Швидкість інтерфейсу	3,4МГц
Максимальна вимірювана напруга	+ -26 В

Калібрування	Калібрувальний реєстр
Внутрішні дані	вимірний струм та потужність
Фільтрація	x128 відліків
Робоча температура	від -40C до 85C
Дрейф в робочому температурному діапазоні	100мкВ

INA219 є інтегрованим давачем струму та напруги з інтерфейсом шини I2C. Ось деякі переваги використання INA219 у порівнянні з іншими давачами:

- Інтеграція давачів струму та напруги. INA219 дозволяє вимірювати як струм, так і напругу на одному пристрої. Це зменшує необхідність використання двох окремих датчиків для вимірювання цих параметрів;
- Інтерфейс шини I2C (Inter-Integrated Circuit). Інтерфейс I2C дозволяє отримати зручний доступ до даних, з можливістю підключення великої кількості пристроїв по одній шині I2C, що робить підключення та взаємодію між ними більш зручною;
- Висока точність. INA219 зазвичай має високу точність вимірювань струму та напруги, що важливо для точного контролю та вимірювань при проведенні експерименту;
- Компактний розмір. Компактний розмір INA219 дозволяють легко встановити його на обрану РСВР як можна ближче до вимірюваної ланки;
- Висока роздільна здатність. INA219 може надавати високу роздільну здатність для вимірювання струму та напруги, що дозволяє докладно визначати навантаження та споживану енергію.
- Можливості калібрування. Давач INA219 має вбудовану можливість калібрування, що дозволяє коригувати вимірювання для досягнення ще більшої точності.
- Наявність бібліотек та підтримки спільноти. Для INA219 існують різні готові бібліотеки, приклади використання в реальних проектах та широка

спільноти, що полегшує використання та інтеграцію даного датчика в різні проекти.

- Низьке споживання енергії. INA219 мають низьке споживання енергії, що важливо в умовах роботи в режимі 24/7.

4.5. Вибір датчика швидкості

Для точного визначення швидкості обертання ДСМ важливо обрати надійне та точне рішення, яке здатне легко інтегруватись до обраних двигунів. На обраному двохосовому ДСМ одна вісь використовується для встановлення колеса з гумовим протектором, а інша може використовуватись для встановлення енкодера.

Оптичний енкодер можна використовувати для вимірювання швидкості двигуна (об/хв), а також механічного переміщення механізму на основі двигуна незалежно від його типу (лінійний, поворотний тощо). На Рис. 4.8 показано приклад використання оптичного енкодера з колесом енкодера з отворами, прикріпленим до невеликого двигуна постійного струму для вимірювання його швидкості.

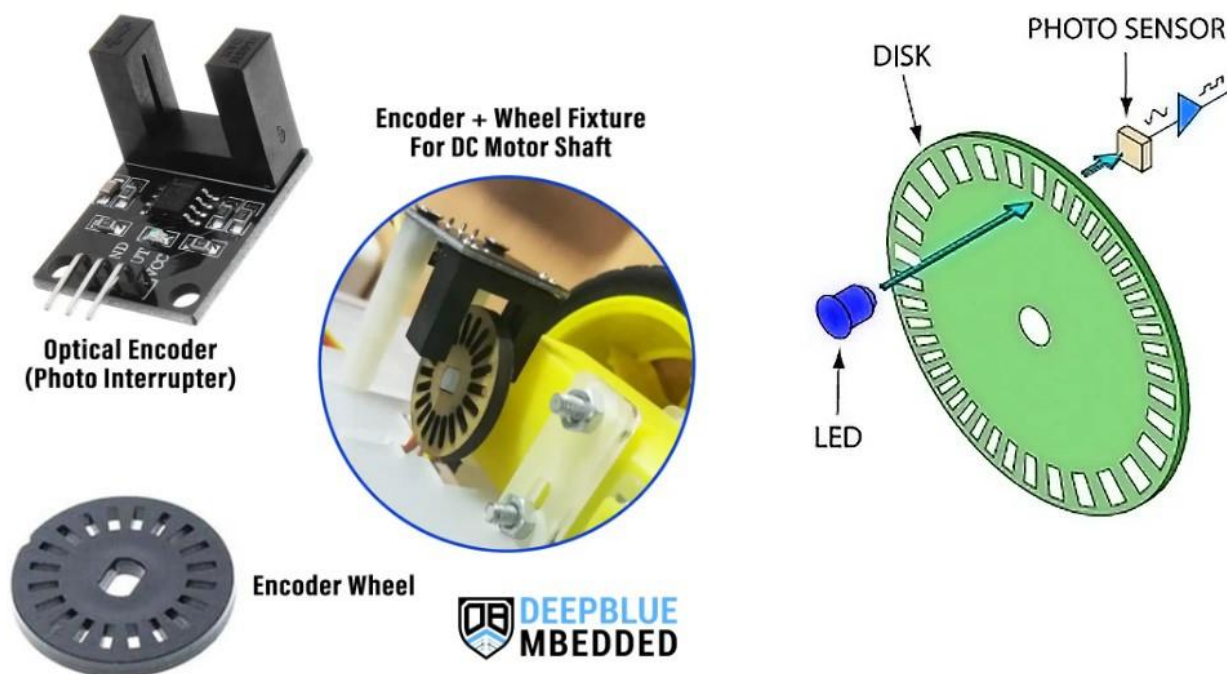


Рис. 4.8 Оптичний енкодер та колесо з отворами [14]

Під час обертання двигуна коліщатко енкодера блокуватиме/дозволятиме інфрачервоному світлодіодному променю досягати фотодатчика з іншого боку. Залежно від кількості вікон колеса енкодера система керування буде отримувати певну кількість електричних імпульсів із давача на повний оберт вала двигуна.

Колесо енкодера, яке показане на Рис. 4.8, має 20 вікон, що означає, що оптичний енкодер видаватиме 20 імпульсів/оберт. Варто зазначити, що чим більше вікон у колесі енкодера, тим більш точнішими будуть вимірювання.

Для побудови CVA було обрано компактний оптичний енкодер з колесом з 20 отворами (Рис. 4.9) через наступні плюси:

- Висока точністю вимірювання відносно швидкості обертання обраного DCM;
- Легке встановлення на вільну вісь DCM та обрану основу РСВР ;
- Наявність готової бібліотеки для роботи з давачем;
- Простір для модернізації, за рахунок встановлення колеса з більшої кількістю отворів.

Характеристики обраного обладнання наведено у Таблиця 4.6 та Таблиця 4.7.



Рис. 4.9 Оптичний енкодер та колесо з отворами [15] [16]

Таблиця 4.6

Характеристики колеса з отворами оптичного енкодера

Матеріал	оргскло
Колір	Чорний
Діаметр	27 мм
Товщина	3 мм
Кількість прорізів	20

Таблиця 4.7

Характеристики оптичного енкодера

Напруга живлення	3,3 В - 5В
Ширина паза датчика	6 мм
Тип виходу	аналоговий та цифровий
Індикатор	стан виходу

4.6. Вибір драйвера двигунів

Оскільки існуюча модель драйвера «PWR DC Motor Driver Shield for Arduino Nano DCM», що використовувалась у стандартній комплектації SCR має ряд суттєвих мінусів, які не дозволяють використовувати її у стенді CVA, необхідно обрати іншу модель драйвера двигунів. Для керування обраними двигунами на ринку доступний ряд моделей драйверів: L298N, L293D, A4988, DRV8825. У Таблиця 4.8 зведено порівняння вказаних драйверів. Зважаючи на необхідність живлення двох DCM, на один канал, (номінальний струм яких складає 250 мА) необхідно обрати драйвер який буде здатний витримувати відповідний струм, а також мати надійну систему охолодження. Обрана модель також повинна забезпечувати плавне регулювання швидкості, можливість реверсу та мати сумісність з Arduino Uno.

Спираючись проведений аналіз та вказані критерії було обрано драйвер двох двигунів L298N (Рис. 4.10). Характеристики драйвера та призначення його контактів наведено в Таблиця 4.9 та Таблиця 4.10.

Таблиця 4.8

Порівняльна таблиця драйверів двигунів

Характеристика	L298N	L293D	A4988	DRV8825
Тип двигуна	DC двигун	DC двигун	Кроковий двигун	Кроковий двигун
Максимальний струм	До 2А на канал	До 0.6А на канал	До 2А на фазу	До 2.5А на фазу
Напруга живлення	5V-35V	4.5V-36V	8V-35V	8.2V-45V
Керування обертовим моментом та швидкістю	Так	Так	Ні	Ні
Захист від перегріву та перевантаження	Так	Так	Так	Так
Підтримка мікрокроків	Ні	Ні	Так	Так
Вхідні сигнали управління	TTL сумісність (5V)	TTL сумісність (5V)	Імпульси (Послідовність, DIR, STEP)	Імпульси (Послідовність, DIR, STEP)
Кількість каналів	2	2	1	1

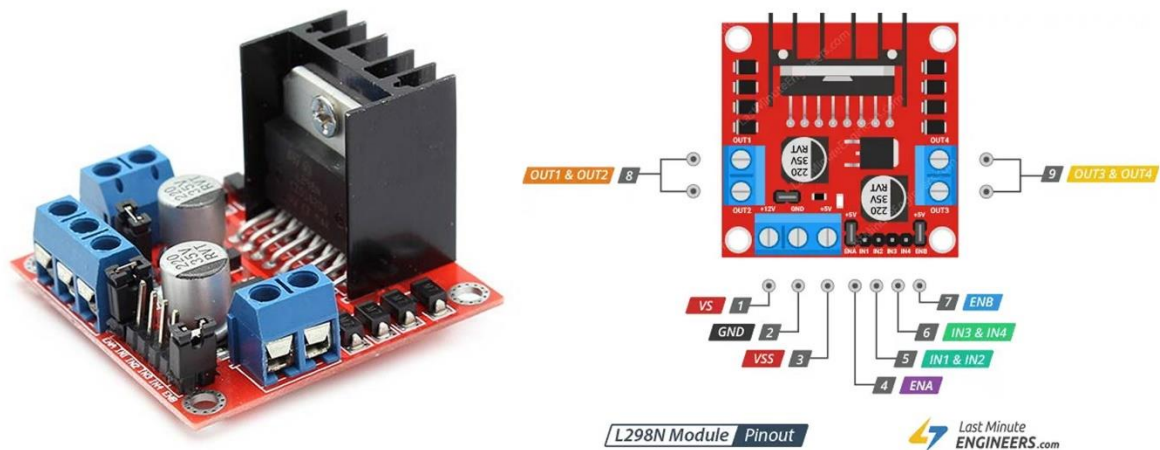


Рис. 4.10 Зовнішній вигляд та розпіновка драйвера двох двигунів L298N [17][18]

Таблиця 4.9

Характеристики драйвера двох двигунів L298N

Напруга живлення вбудованої логіки	5В
Споживаний струм вбудованої логіки	0 – 36мА
Напруга живлення драйвера	5 – 35В (максимальна 46В)
Робочий струм драйвера	2А (піковий струм 3А)
Максимальне споживання енергії	25 Вт
Робоча температура	-20 ° C - + 135 ° C
Габарити	43,5 x 43,2 x 29,4 мм
Вага	26 грам

Призначення контактів драйвера двох двигунів L298N

Підключення зовнішнього живлення двигунів	V_{cc}
Живлення логіки	+5 V
Загальний	GND
Контакти керування	IN1, IN2, IN3, IN4
Вихід першого двигуна	OUT1, OUT2
Вихід другого двигуна	OUT3, OUT4

4.7. Вибір комунікаційного модуля

Для більш спрощеного підключення обраного обладнання до Arduino Uno слід обрати комунікаційний модуль, який дозволить розширити можливості її підключення за рахунок розширення клем живлення та більш зручної компоновки комунікаційних входів/виходів. Для плат Arduino Uno існує велика кількість плат розширення (Шилдів), які спрощують процес під'єднання певного обладнання:

- **Шилд для зв'язку по Ethernet (Ethernet Shield).** Даний шилд дозволяє Arduino Uno взаємодіяти з мережею Ethernet, надаючи можливість обміну даними через мережеве підключення.
- **Шилд для бездротового зв'язку (Wireless Shield).** Цей шилд дозволяє Arduino Uno працювати в бездротових мережах, таких як Wi-Fi або Bluetooth, що розширює можливості збірки та обміну даними через бездротове з'єднання.
- **Шилд для управління моторами (Motor Shield).** Цей шилд розширює можливості Arduino Uno для управління моторами, що є корисним у робототехніці та автоматизації.
- **Шилд для вимірювання сенсорів (Sensor Shield).** Даний шилд спрощує використання різноманітних сенсорів, оскільки надає додаткові роз'єми та вбудовані опції для зчитування даних від сенсорів.

- **Шилд для зчитування та запису на SD-карту (SD Card Shield).** Цей шилд надає можливість зчитування та запису даних на SD-карту, що є корисним для збереження великої кількості інформації.

В нашому випадку необхідний шилд, що дозволить легко під'єднати обрані датчики та драйвери до Arduino Uno. Проаналізувавши доступні на ринку пропозиції було обрано «Сенсор Шилд для підключення датчиків до Arduino V5» Рис. 4.11, призначення виводів якого зведено в Таблиця 4.11.

Таблиця 4.11

Призначення виводів Arduino Sensor Shield V 5.0 [19]

Цифрові входи-виходи	D0-D13
Аналогові входи-виходи	A0-A5
Кнопка скидання	RESET
Паралельний інтерфейс	LCD
Послідовний інтерфейс	LCD
Додаткові інтерфейси	UART, SD, Bluetooth

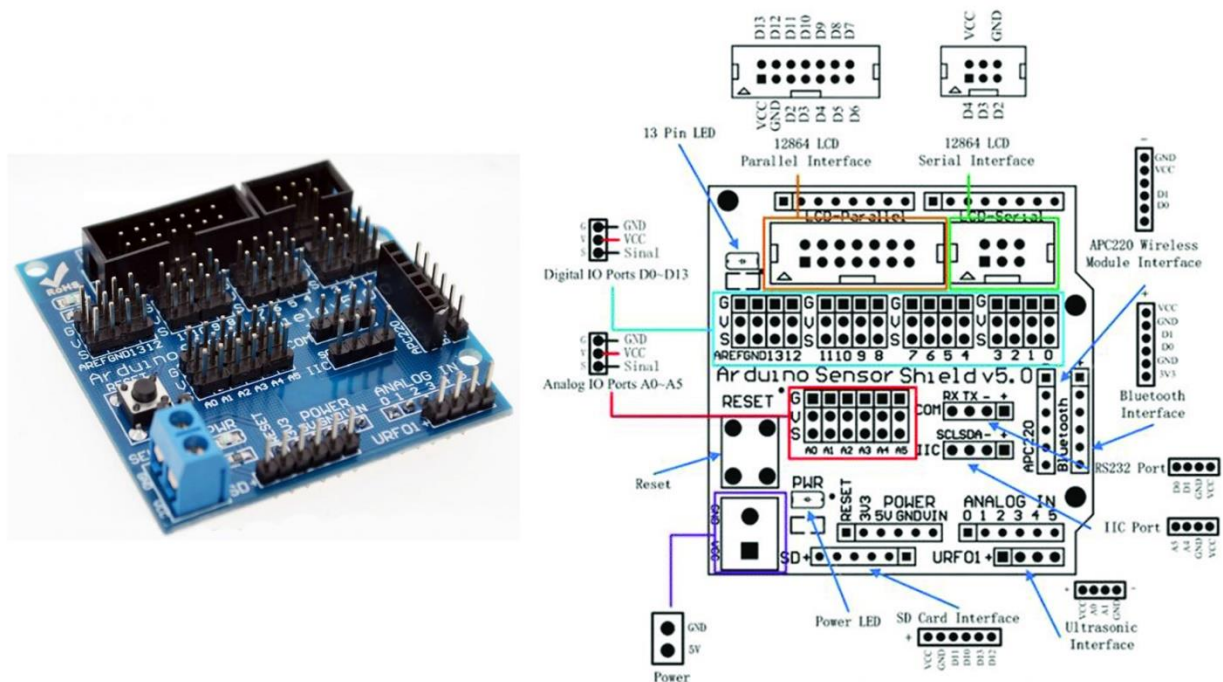


Рис. 4.11 Зовнішній вигляд та розпіновка Arduino Sensor Shield V 5.0 [19][20]

Arduino Sensor Shield V5.0 є зручним модулем для розширення можливостей Arduino, зокрема для робототехніки та проектів, пов'язаних з сенсорами. Ось деякі переваги використання Arduino Sensor Shield V5.0:

- **Легкість підключення сенсорів.** Sensor Shield дозволяє легко підключати різні типи сенсорів, такі як датчики температури, вологості, освітлення, гіроскопи та багато інших, без необхідності важливого з'єднання та налаштувань.
- **Зручне розміщення інтерфейсів.** Інтерфейси для підключення сенсорів мають зручне розташування та позначення, що полегшує процес підключення та розробки.
- **Вбудований стабілізатор напруги.** Sensor Shield включає вбудований стабілізатор напруги, що дозволяє використовувати власне живлення для сенсорів та модулів безпеки.
- **Підтримка I2C, UART, та інших інтерфейсів.** Sensor Shield підтримує різні інтерфейси, включаючи I2C та UART, що робить його використовуваним для широкого спектру пристроїв.

4.8. Вибір навантажувального пристрою

З метою наближення умов проведення експерименту до реальних було вирішено створити імітацію типових умов випробувань автомобільного транспорту засобами динамометричного стенду (Рис. 4.12).



Рис. 4.12 Типова конструкція динамометричного стенду

Динамометричний стенд використовується для вивчення та аналізу автомобільного транспорту, зокрема електромобілів, надаючи можливість вимірювання та контролю ключових параметрів. В контексті електричного автомобіля (EV), динамометричний стенд здатен виконувати наступні завдання:

- Дослідження ефективності та характеристик електродвигуна, включаючи потужність та обертовий момент при різних режимах роботи.
- Аналіз впливу аеродинамічного опору на рух EV, дозволяючи вдосконалити конструкцію для зменшення опору повітря.
- Визначення реакції акумуляторів на різні режими використання, вимірюючи напругу, струм та ефективність заряду/розряду.
- Створення умов для тестування EV на різних дорожніх умовах, включаючи підйоми, спуски та зміни швидкості.
- Аналіз теплових параметрів EV та систем охолодження для забезпечення оптимальної теплової регуляції.

- Валідація реакції EV на різноманітні сценарії та завдання, такі як розгін, гальмування та інші динамічні процеси.
- Вивчення ефективності та тривалості служби систем енергозбереження, включаючи інвертори та інші ключові компоненти.

Для імітації умов дослідження засобами динамометричного стенду було вирішено використовувати його спрощену модель, яка представляє з себе конструкцію, що складається з двох пластикових роликів на пластиковій опорі. Дана конструкція буде розташовуватись під кожним колесом задньої осі CVA. Дана рішення надає можливість відтворити реальні умови випробувань ЕА, що є важливим для точної емуляції навантаження на задні колеса автомобіля. При розміщенні роликів на фіксованій відстані під колесами CVA на них буде створюватись рівномірне навантаження, що дозволить досліджувати реакцію DCM на різноманітні режими роботи, під певним навантаженням, виключаючи режим холостого ходу. Використання роликів дозволить створити умови руху, які наближені до реальних, що важливо для адекватного вивчення та аналізу реакцій транспортного засобу.

4.9. Вибір джерела живлення

Для живлення силової та керуючої частини «CVA» було обрано два Li-ion акумулятори типорозміру 18650 (Рис. 4.13). Даний тип акумуляторних батарей має наступні ключові переваги.

- **Ефективність та вага.** Акумулятори 18650 вирізняються великою енергетичною щільністю та низькою вагою, що робить їхнє використання особливо доцільним для зменшеної моделі легких електромобіля «CVA».
- **Розповсюдженість у серійних моделях.** Li-ion акумулятори, зокрема типорозміру 18650, уже широко використовуються в електромобільній промисловості через їхню перевагу у відношенні довговічності та високої ефективності.
- **Надійність та тривалість служби.** З врахуванням стійкості та продовженої експлуатаційної тривалості, акумулятори 18650 виступають як надійний

енергетичний компонент. У порівнянні з іншими акумуляторами, такими як NiMH чи Li-poly, 18650 Li-ion видаються більш доцільним варіантом через свою низьку масу, високу енергетичну щільність та загальну надійність.



Рис. 4.13 Зовнішній вигляд Li-ion батареї 18650

Порівняльна характеристика основних розповсюджених типів акумуляторних батарей наведена у Таблиця 4.12.

Таблиця 4.12

Порівняльна таблиця різних типів акумуляторних батарей

Характеристика	NiMH	Li-poly	Li-ion
Енергетична щільність (Wh/kg)	80-120	100-265	250-730
Вага	60-80 г/Аг	120-200 г/Аг	150-250 г/Аг
Напруга	1.2V на елемент	3.7V на елемент	3.7V на елемент
Кількість циклів заряду/розряду	300-500	300-500	500-1000
Ефект пам'яті	Присутній, але слабкий	Відсутній	Відсутній
Саморозряд	Приблизно 20% за місяць	Приблизно 5% за місяць	Приблизно 1-2% за місяць

Тривалість служби	5-10 років	5-7 років	8-12 років
Швидкість заряду	Повільний	Швидкий	Середній
Специфікації температурного режиму	Обмежений	Широкий	Широкий
Вартість	Низька	Висока	Середня
Використання у електромобілях	Рідше вживається	Вживається, але менше поширений	Широко вживається

4.10. Вибір камери

При виборі камери для відстеження процесу протікання експерименту слід перш за все переконатись, що кут її зору буде здатен охоплювати бажану область: раму стенду, раму з вбудованим обладнанням або тільки робочий орган. Кут зору камери вказується у технічних характеристиках. Фокусна відстань камери також сильно впливає на те, на скільки близько камера здатна знаходитись до об'єкта зі збереження високого рівня різкості зображення.

На якість зображення, яке отримується з камери, загалом впливають такі параметри як: роздільна здатність, кількість мегапікселів та відео бітрейт. Роздільна здатність повинна відповідати сучасним вимогам та не бути нижчою за HD (1280x720 пікселів). Оптимальним вибором є роздільна здатність Full HD (1920x1080 пікселів). Кількість мегапікселів матриці камери при цьому повинна бути не менше ніж 2-3 Мп, оскільки саме таке значення покриває роздільну здатність 1920x1080 (Full HD). Бітрейт повинен бути в межах 3 кбіт/с - 30 кбіт/с.

Для чіткого відстеження процесу протікання експерименту важливо забезпечити відповідну частоту кадрів. Для повільно протікаючих процесів вона повинна бути не менше 24-25 к/с. Для більш швидких процесів 25-60 к/с.

Параметр апертури об'єктива (f) повинен бути не більше F2.0, для забезпечення високої світлосили в умовах не достатнього освітлення, або більшим у випадку використання зовнішніх освітлювальних приладів.

Параметр відео компресії є дуже важливим в умовах взаємодії з обраною системою керування Ррі 4. Для забезпечення швидкодії роботи системи слід обирати камери, що підтримують кодеки H.264 або mjpeg. Вибір мережевого інтерфейсу також буде впливати на швидкість системи, її загальну структуру та вибір комунікаційного обладнання (зокрема роутера). Бажано використовувати камери зі стандартними інтерфейсами - RJ45 або USB. В разі використання типу під'єднання за допомогою RJ45 - мова іде про IP камери.

З метою зниження споживання електроенергії в умовах безперервної роботи стенду 24/7 - слід звертати увагу на потужність обраної камери. Оптимальна потужність повинна бути меншою або дорівнювати 10 Вт. Наявність нічної підсвітки в камері може стати як плюсом, з точки зору економії енергії в нічний час, так і мінусом в плані додаткового енергоспоживання.

Зважаючи на вказані критерії було обрано IP Камеру Hikvision DS-2CD1021-I(F) (2.8 мм) (Рис. 4.14). Основні технічні характеристики зведено до Таблиця 4.13.



Рис. 4.14 IP-відеокамера Hikvision DS-2CD1021-I(F) (2.8 мм) [21]

Таблиця 4.13

Технічні характеристики Hikvision DS-2CD1021-I(F) (2.8 мм)

Вид (форм фактор)	Циліндрична
Дальність ІЧ-підсвічування	30 метрів
Роздільна здатність	2 МП
Тип встановлення	Вулична, Внутрішня

Тип підключення	Дротові, PoE живлення
Ethernet	1 RJ45 10M/100M
Частота кадрів	25к \ с (1920 × 1080, 1280 × 960, 1280 × 720)
Живлення/споживання	DC 12В/PoE (802.3af)/5, 6.5 Вт
Клас захисту	IP67
Матриця	1/2.8 Progressive Scan CMOS
Мережеві протоколи	TCP/IP, ICMP, HTTP, HTTPS, FTP, DHCP, DNS, DDNS, RTP, RTSP, RTCP, NTP, UPnP, SMTP, SNMP, IGMP, 802.1X, QoS, IPv6, Bonjour
Розмір	69x66x172 мм
Відео компресія (Кодеки)	H.264; H.264+
Фокус	2.8мм (кут огляду 112°)

Основні плюси обраної моделі IP камери:

- **Висока якість зображення.** Hikvision відомий своєю високоякісною оптикою та обробкою зображення. Це може забезпечити чітке та високорозширене відео при провідному підключенні.
- **Надійність з'єднання.** Провідне підключення по Ethernet, забезпечує стабільніше та менш схильне до перерв з'єднання у порівнянні з бездротовим підключенням.
- **Безпека.** Провідне з'єднання може бути менш вразливим до вторгнень або інтерференції, оскільки сигнал передається по фізичному кабелю.
- **Управління та моніторинг.** IP-камери Hikvision обладнані програмним забезпеченням для віддаленого управління та моніторингу, що робить їх зручними для віддалених або централізованих систем відеоспостереження.

- **Широкий кут огляду об'єктива.** Обрана модель камери Hikvision має об'єктиви з широким кутом огляду, що є важливим для охоплення ключових областей стенду.
- **Матеріал та захист від погодних умов.** Робоча температура, захист від вологи та пилу та матеріали корпусу забезпечують тривале використання камери в різних умовах.
- **ІТ безпека.** Hikvision враховує аспекти безпеки в своїх пристроях. Важливі функції включають шифрування трафіку, підтримку протоколів безпеки, можливості автентифікації та здатність оновлювати вбудоване програмне забезпечення для усунення виявлених уразливостей.
- **Підтримка стандартів безпеки.** Обрана модель підтримує більшість основних стандартів безпеки, такі як HTTPS, що забезпечує захищене передавання даних.

4.11. Вибір комунікаційного обладнання

В умовах необхідності забезпечення безперервного та стабільного доступу до віддалених наукових стендів важливо обрати надійне рішення для забезпечення високої швидкості передачі даних та ефективної трансляції відеопотоку. Для підключення обраного обладнання до мережі необхідно обрати надійний роутер (маршрутизатор). При виборі слід звертати увагу на кількість та тип портів, підтримку стандартів бездротового з'єднання (наприклад, Wi-Fi 6), механізми безпеки, спроможність обробки даних, а також наявність функціоналу для управління та налаштування мережі. Оцінивши пропозиції, що представлено на ринку, було обрано роутер MikroTik hAP ac2 (RBD52G-5HACD2HND-TC) – 1 Гбіт/с (Рис. 4.15)



Рис. 4.15 MikroTik hAP ac2 (RBD52G-5HACD2HND-TC) – 1 Гбіт/с

В даному контексті, вибір пристрою MikroTik hAP ac2 виправдовується його спроможністю забезпечити високу швидкість передачі даних та стабільність трансляції відеопотоку. Наявна кількість портів дорівнює необхідній для підключення всього необхідного обладнання. Його висока пропускна здатність, надійність та гнучкість управління роблять його оптимальним вибором для сучасних вимог до мережесих рішень. Основні технічні характеристики обраного роутера наведено в Таблиця 4.14.

Таблиця 4.14

Технічні характеристики MikroTik hAP ac2 (RBD52G-5HACD2HND-TC)

Параметр	Характеристика
Частота роботи Wi-Fi	5 ГГц + 2.4 ГГц (дводіапазонний)
Швидкість LAN портів	1 Гбіт/с
Стандарт зв'язку Wi-Fi	802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, Wi-Fi 5 (802.11ac)
Стандарт швидкості Wi-Fi	AC1200
Швидкість Wi-Fi, Мбіт/с	1167 Мбіт/с
USB-порт	1 x USB 2.0

Конструкція антен	Вбудовані
Кількість антен	4
WAN-порт	Ethernet
USB 3G/4G	Є
Додаткові режими роботи	Точка доступу
Інтерфейси	1 x WAN 10/100/1000, 4 x LAN 10/100/1000, 1 x USB 2.0
Підтримка протоколів	PPTP, L2TP, IPsec, PPPoE, DHCP, NAT
Wi-Fi підключення	Є
Функції брандмауера	Міжмережевий екран Firewall
Максимальна споживана потужність	21 Вт
Підтримка операційних систем	RouterOS

4.12. Вибір матеріалів корпусу стенду

При виборі матеріалів корпусу стенду необхідно звертати увагу на ряд наступних ключових факторів: вартість, вага, легко займистість, потреба в обслуговуванні тощо. У Таблиця 4.15 виконано порівняння найбільш розповсюджених рішень, з точки зору практичного застосування вказаних матеріалів, для побудови подібних наукових стендів.

Таблиця 4.15

Порівняння матеріалів для побудови конструкції

Матеріал	Переваги	Недоліки	Собівартість	Пожежна безпека
Алюмінієві труби	Легкість, стійкість до корозії,	Вища вартість порівняно з іншими матеріалами	Висока	Висока (висока стійкість)

	сучасний вигляд			
Гальванізована сталь	Стійкість до корозії, міцність	Вагома, може бути важкою для переноски та монтажу	Середня	Висока (висока стійкість)
Пластикові труби	Легкість, низька вартість, стійкість до корозії	Менш стійкі зовнішньо, особливо до ударів та тиску	Низька	Низька (високий ризик)
Дерев'яні бруски	Естетичний вигляд, більш доступні з точки зору вартості	Вимагає обслуговування для запобігання гнилі та впливу погоди	Низька	Низька (високий ризик)
Труби для банерів (Press Wall)	Легкість, простота монтажу, стійкість до корозії	Залежить від матеріалу труб (наприклад, алюмінієві труби можуть бути стійкими до високих температур)	Низька/Середня	Висока (висока стійкість)

За результатами проведеного аналізу, щодо доцільності використання кожного з наведених рішень, було зроблено вибір на користь труб для банерів (Press Wall)
Рис. 4.16.

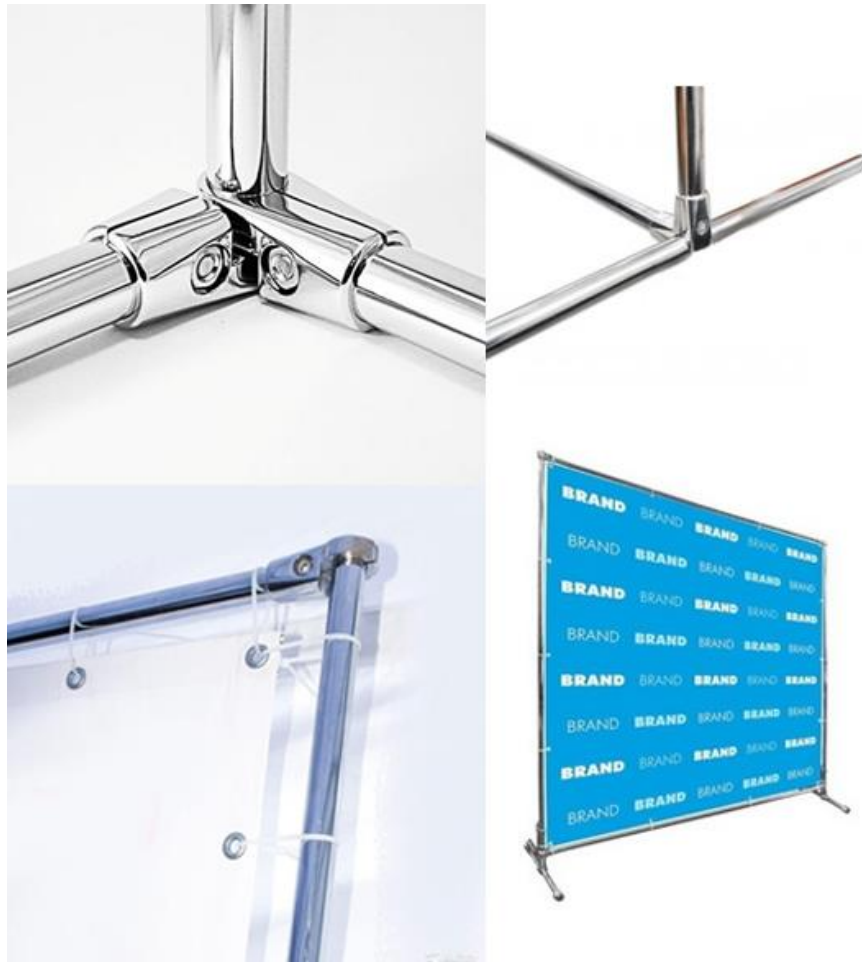


Рис. 4.16 Зовнішній вигляд банерів Press Wall [22][23]

Використання труб від каркасу для банера у побудові загородження стенду може мати наступні переваги:

1. **Простота монтажу.** Труби легкі та прості у монтажі, що дозволяє швидко створити надійне загородження без необхідності у особливій кваліфікації чи спеціальному інструменті.
2. **Легка вага.** Труби від каркасу для банера зазвичай легкі та портативні, що полегшує транспортування та пересування готової конструкції стенду.
3. **Низька вартість матеріалу.** Труби є відносно бюджетним матеріалом для створення загорожі порівняно з іншими конструкційними матеріалами.
4. **Можливість модифікації.** Труби дозволяють легко змінювати конфігурацію або розміри стенду відповідно до потреб проекту або для подальшої модернізації.

5. **Відкритий зовнішній вигляд.** Конструкція з труб створює відкритий вигляд, що дозволяє легше спостерігати за об'єктом дослідження, виконувати його обслуговування, тощо.

4.13. Вибір системи освітлення

Для дотримання вимог до режиму роботи стенду, які передбачають можливість підключення до нього 24/7, важливо передбачити надійну та функціональну систему освітлення. Оскільки обрана раніше конструкція, з труб Press Wall, дозволяє легко додавати додаткове обладнання - є можливість встановити освітлювальні прилади різного типу прямо на неї.

Слід зауважити, що вибір освітлювального обладнання тісно пов'язаний з якістю вихідного зображення, яке буде транслятись на сторінку керування стендом. Більшість обраного обладнання має глянцеvu поверхню, яка буде викликати велику кількість бліків на поверхні CVA особливо в разі використання «жорсткого світла» (малого за розмірами джерела світла по відношенню до розмірів стенду).

Для уникнення бліків від поверхні можна застосувати наступні заходи:

1. Використовувати «м'яке світло» - від більшого/рівного за розмірами джерела світла по відношенню до розмірів стенду. Яке буде формувати м'які тіні на поверхні об'єкту, зменшуючи вірогідність утворення бліків.
2. Уникати прямого світла. Підібрати кут освітлення таким чином, щоб уникнути відбиття світла від поверхні стенду до об'єктиву камери.
3. Використовувати додаткові розсіювальні фільтри для пом'якшення світла.
4. Зменшити ступінь відбиття поверхні за рахунок зовнішнього покриття.
5. Регулювати силу світлового потоку.

На сьогоднішній день на ринку існує багато рішень серед освітлювального обладнання. Найбільш розповсюдженими та енергоефективними джерелами світла є лампи на базі LED (light-emitting diode), а саме: панелі (матриці), лампи, прожектори, світильники, світлодіодні стрічки. У Таблиця 4.16 наведено основні переваги та недоліки їх використання.

Порівняння джерел освітлення

Джерела LED	Переваги	Недоліки
Панель	- Рівномірний світловий потік. - Довгий термін служби. - Низькі витрати енергії. - Вбудований радіатор охолодження.	- Обмежені в можливості напрямленого світла. - Висока ціна.
Лампа	- Висока якість світла. - Довгий термін служби. - Низька ціна. - Низькі витрати енергії.	- Створює контрастні тіні та сильні відблиски (жорстке світло). - Потребує наявності додаткового цоколю та кріплення для нього. - Надто широкий кут освітлення.
Прожектор	- Висока яскравість освітлення. - Довгий термін служби. - Низькі витрати енергії.	- Створює контрастні тіні та сильні відблиски (жорстке світло).
Світильник:	- Наявність корпусу з розсіювачем. - Низькі витрати енергії. - Компактні розміри.	- Складності з кріпленням
Стрічка	- Низькі витрати енергії - Висока стійкість до тривалої роботи.	- Без корпусу створює контрастні тіні та сильні

	- Гарний світловий потік при малих габаритах. - Можливість кріплення на різних поверхнях. - Низька ціна.	відблиски (жорстке світло).
--	--	-----------------------------

Оцінивши доступні на ринку рішення, щодо освітлення стенду – в якості джерела освітлення було обрано LED стрічку. За рахунок позиціонування на трубі (Press Wall) можливо досягти оптимального куту освітлення та уникнути бликів, що будуть напряму потрапляти до камери. Встановлення додаткового алюмінієвого радіатора з розсіювачем допоможе зробити світло більш «м'яким», що забезпечить високу якість вихідного зображення.

4.14. Висновки до четвертого розділу

За результатами проведеного дослідження доступних на ринку рішень для побудови CVA було зроблено вибір наступного обладнання.

1. Двигуни постійного струму з редуктором 1:48 (двох-осьовий) – 4 шт.
2. Колеса з гумовим протектором – 4 шт.
3. Давачі струму та напруги INA219 з шиною I2C – 2 шт.
4. Драйвер двох двигунів на L298N – 1 шт.
5. Arduino Uno Rev3 (ATmega16U2) – 1 шт.
6. Arduino Sensor Shield V5.0 – 1 шт.
7. Акумулятори Panasonic 18650 – 2 шт.
8. Оптичний давач швидкості (енкодер) – 2 шт.
9. Колеса для оптичного давача швидкості – 2 шт.
10. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4 Model B 8GB разом з комплектним обладнанням. Корпус з радіатором, блок живлення, мишка, клавіатура, мишка, SD карта, HDMI кабель.

Розділ 4. Вибір обладнання

11. IP-відеокамера Hikvision DS-2CD1021-I(F) – 1 шт.
12. Елементи освітлення (RGB) світлодіодна стрічка.
13. Корпус (пластикові основа) машинки та додаткові елементи кріплення (кранштейни).

5. Розділ – Реалізація

5.1. Апаратна реалізація «Car Vali»;

5.1.1. Крок 1: Встановлення додаткового обладнання

Оскільки частина наявного обладнання SCR Dnipro University of Technology частково задовольняє вимогам проекту та може бути використана для реалізації «Car Vali». На Рис. 5.1 та Рис. 5.2, Можна побачити SCR1 та SCR2, які було взято за основу при побудові стенду.

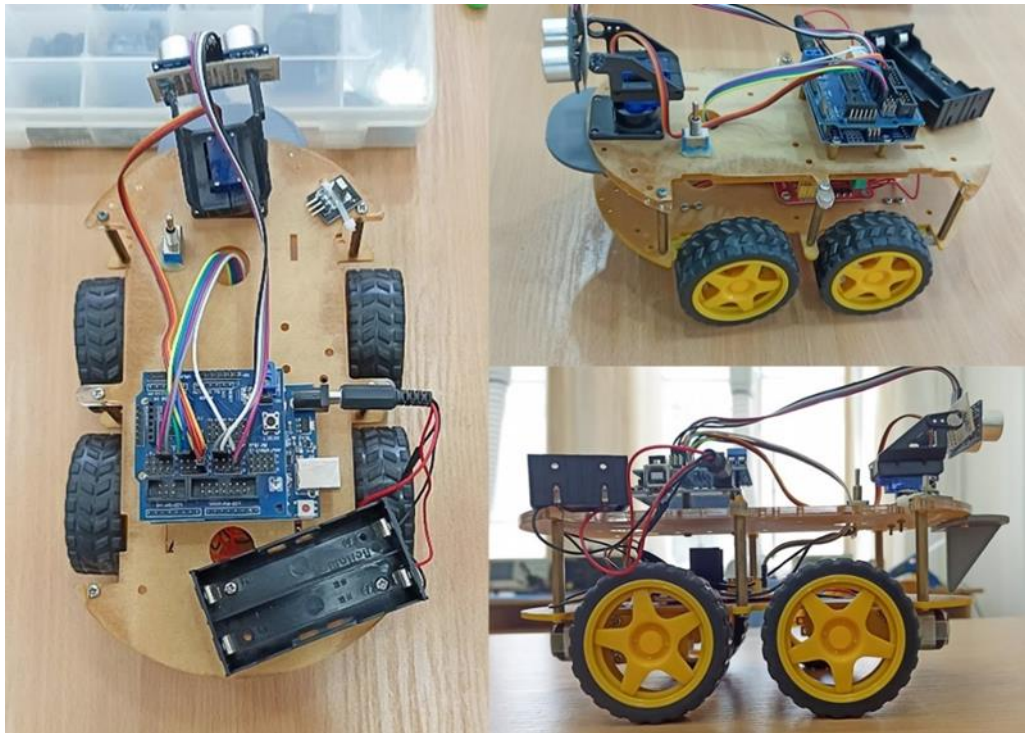


Рис. 5.1 Зовнішній вигляд SCR1

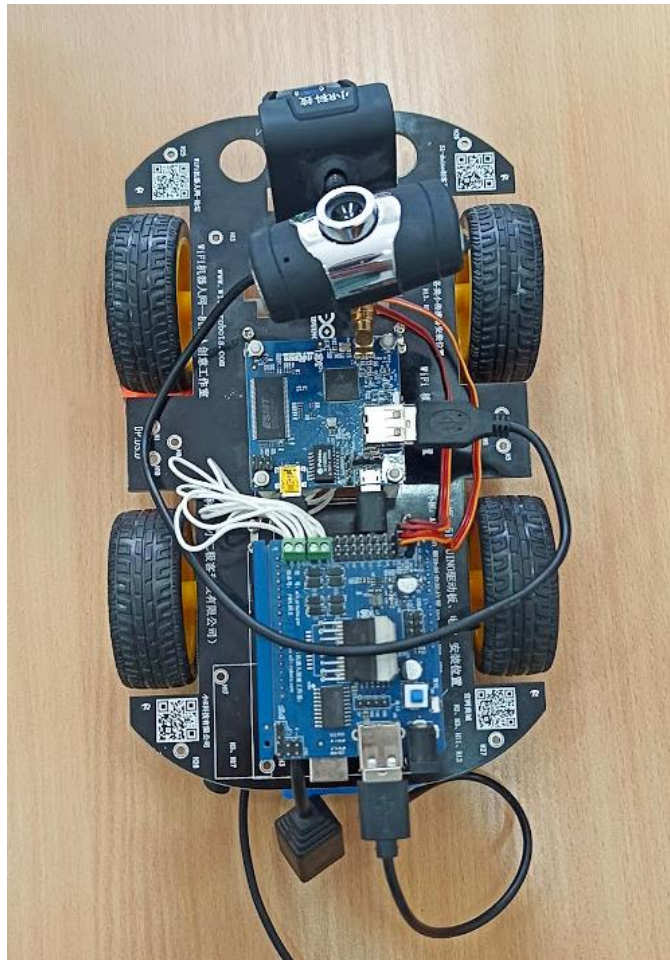


Рис. 5.2 Зовнішній вигляд SCR2

В якості основи для Car Vali було обрано текстолітову платформу SCR2. Завдяки наявності додаткових стандартизованих монтажних отворів існує можливість встановлення більшої кількості додаткових модулів, ніж у SCR1.

Було вибрано комплектне обладнання SCR2, яке не використовувалось: web-камера, плата керування web-камерою, комплектна акумуляторна батарея.

DCM в зборі з колесами SCR2 було замінено на нові через наступні фактори:

- Значний люфт коліс, з гумовим протектором, на валу двигуна;
- Недостатню кількість змазки редуктора, що викликає надмірне тертя та створює значну різницю в швидкості між кожним з коліс.

Комплектний шилд керування двигунами SCR2 було замінено на обраний драйвер двох двигунів на L298N, через ряд його суттєвих недоліків:

- Відсутності радіатора охолодження;
- Малі розміри та ненадійність силових клем підключення DCM;

- Ускладнена комунікація та керування з шилдом через відсутність документації.

З метою спрощення комунікації з обраними датчиками та драйвером до комплектної Arduino Uno SCR2 було додано обраний Arduino Sensor Shield V5.0 (Рис. 4.11).

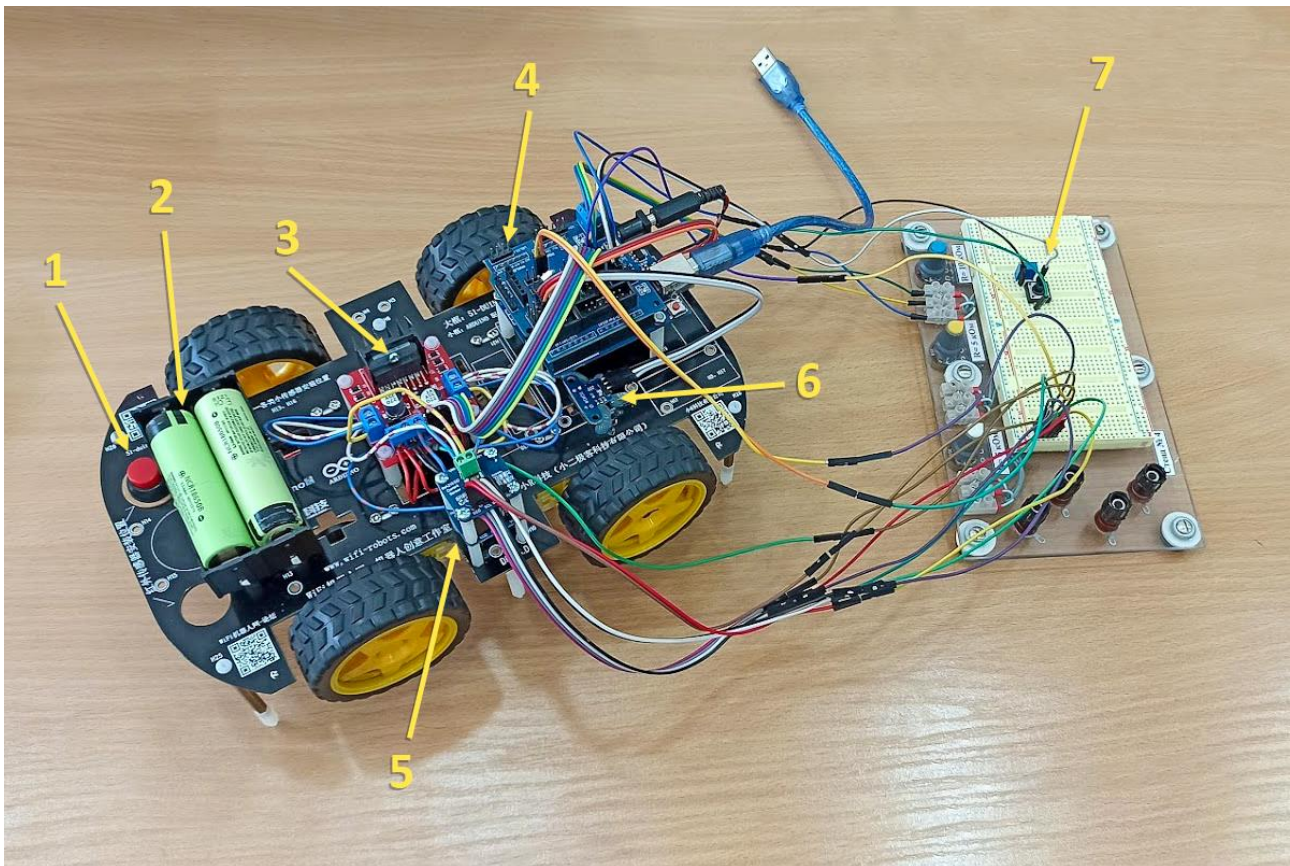


Рис. 5.3 Зовнішній вигляд прототипу CarVali де 1 – кнопка з фіксацією, 2 – акумуляторні батареї Panasonic 18650, драйвер двигунів L298N, 4 - Arduino Sensor Shield V5.0, 5 - датчики струму та напруги INA219, 6 – оптичні датчики швидкості, 7 – кнопка для налаштувань

Задля економії місця датчики струму та напруги INA219 (Рис. 5.3, п.5) були встановлені в два яруси, максимально близько до вимірюваної ланки.

Дві послідовно з'єднані акумуляторні батареї Panasonic 18650 (Рис. 5.3, п.2), які представляють собою основну ланку живлення керуючої та силової частини стенду, були розміщені у спеціальному холдері на краю РСВР. Подача живлення на всю схему відбувається за допомогою кнопки з фіксацією (Рис. 5.3, п.1).

Оптичні давачі швидкості з комплектними колесами (Рис. 5.3, п.6). були розміщені на валу двох задніх DCM за допомогою стандартних кріплень.

Схема з'єднання всіх елементів стенду, яка виконана засобами Fritzing [24] показана на Рис. 5.4.

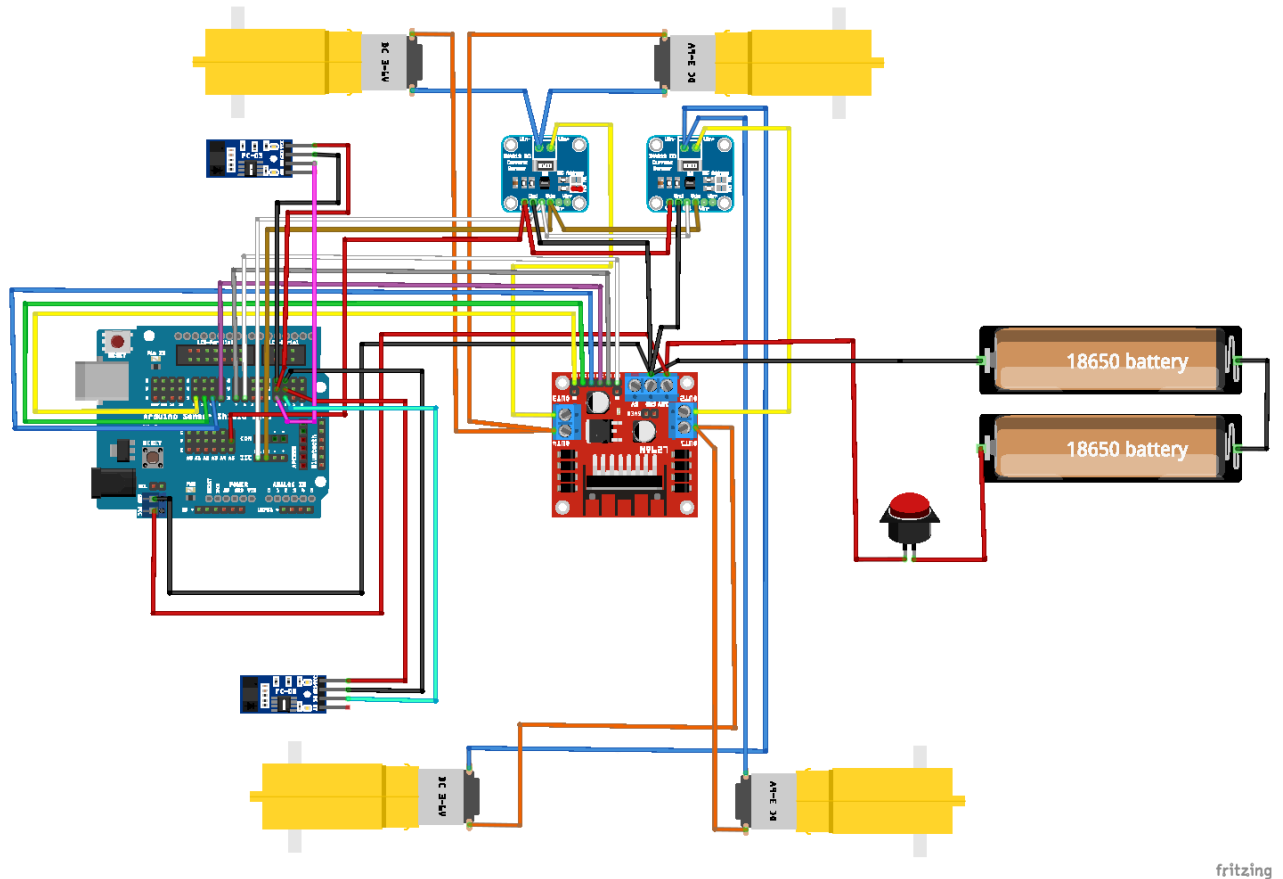


Рис. 5.4 Схема з'єднання елементів прототипу CarVali Fritzing [24]

5.1.2. Крок 2: Налаштування обладнання стенду;

Наступним етапом після підключення обладнання йде його налаштування. Давачі струму INA219 від'єднуються до Arduino Uno за допомогою шини I2C. Кожен з них має свою унікальну адресу в системі (0x40, 0x41, 0x44, 0x45) яка налаштовується шляхом пайки відповідних перемичок на платі. Для налаштування давачів INA219 необхідно виконати наступні кроки:

- Встановити бібліотеку Adafruit INA219, що призначена для роботи саме з цими давачами;

- Обрати режим їх роботи (вимірювання напруги, струму або потужності);
- Встановити роздільність для вимірювань – від 9 до 12 біт;
- Встановити коефіцієнт калібрування.

Після чого слід перевірити адекватність вимірювань, за допомогою давача, параметрів шляхом порівняння з даними отриманими на сертифікованому обладнанні. Що дозволить правильно обрати роздільну здатність та коефіцієнти. Форму вихідного сигналу можна оцінити за допомогою вбудованого в Arduino IDE інструменту – Serial Plotter. Головні критерії оцінки якості отриманого сигналу – незначна кількість шумів значень струму та напруги, а також висока швидкодія.

Налаштування драйвера L298N більшою мірою полягає у правильності конфігурування плати шляхом зміни положення перемичок, а також правильності під'єднання до відповідних входів/виходів Arduino Uno. Слід зауважити, що перемички ENA та ENB повинні стояти в положенні для керування двигунами, що приєднані до каналів А та В за допомогою ШІМ сигналу. У випадку використання Arduino необхідно встановити положення перемички вибору джерела живлення логіки у 5V/enable.

Для отримання якісного сигналу з оптичних давачів швидкості необхідно чітко позиціонувати їх, на валу DCM, таким чином, що колесо оптичного давача знаходилось чітко по його центру. Також слід передбачити рівність розташування між двома DCM, щоб уникнути накопичення помилки швидкості їх обертання. Також для зниження різниці у швидкості обертання необхідно замінити змазку в редукторах всіх DCM.

Для проведення тестувань в статичному режимі, коли машинка не рухома в просторі, були використані монтажні стійки для друкованих плат (Рис. 5.5, п.3). Це дозволило проводити дослідження різноманітних режимів роботи стенду в режимі холостого ходу двигунів. Для вибору різних режимів роботи Car Vali (рух вперед та назад) та завдання швидкості, в рамках тестування, застосовувалась макетна плата з вбудованими потенціометрами. При повороті першого потенціометра (Рис. 5.5, п.1) відбувалась зміна швидкості від min до max, а діапазон обертання другого

потенціометра (Рис. 5.5, п.2) був поділений на 4 області (0-200, 200-600, 600-800, 800-1024), що дозволяло обрати режим роботи завдяки повороту його ручки на певний кут.

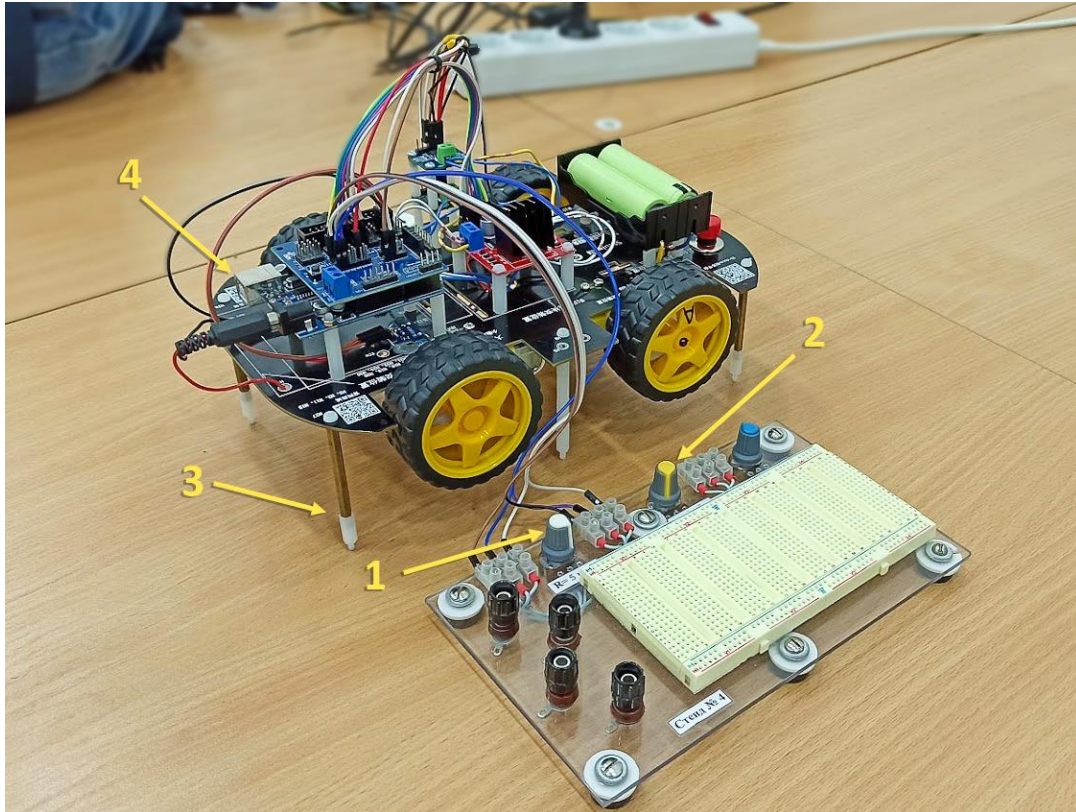


Рис. 5.5 Налагодження стенду Car Vali, де 1,2 – потенціометри керування, 3 – монтажні стійки, 4 – комунікаційний порт USB Type B (COM)

Наступним кроком після налаштування керування від зовнішніх джерел (кнопки, потенціометри тощо) стало налаштування комунікації по COM порту за допомогою комунікаційного порту Arduino Uno – USB Type B (Рис. 5.5, п.4). Даний спосіб комунікації має ряд переваг:

- Взаємодія з ПК. Дозволяє взаємодіяти з Arduino через зручний інтерфейс на персональному комп'ютері (ПК) за допомогою програмного забезпечення, що працює через COM-порт, такого як Arduino IDE або інші програми.
- Простота розробки. Дозволяє розробникам швидко та просто здійснювати взаємодію з стендом без необхідності використання

складних та не надійних апаратних засобів керування (кнопок та потенціометрів).

- Віддалений моніторинг та контроль. Забезпечує можливість віддаленого моніторингу та керування пристроєм через COM-порт, що дозволяє віддалено спостерігати за станом стенду, змінювати його параметри та задавати різноманітні режими роботи та уставки швидкості .
- Легка інтеграція з іншим ПЗ. Дозволяє інтегрувати Arduino з іншими програмами чи середовищами розробки, що підтримують комунікацію через COM-порт. Що в подальшому дозволить легше створити комунікацію засобами Web.
- Програмне керування: Дає можливість програмного керування Arduino за допомогою ПЗ, що написане на різних мовах програмування чи за допомогою різних програмних середовищ, що підтримують взаємодію через COM-порт (наприклад, Python, C#, Java).

Налаштування IP камери:

Для коректного налаштування камери, а також планування майбутньої конструкції стенду, слід перш за все визначити вимоги що-до розміщення камери в просторі (Рис. 5.6). Камера повинна повністю охоплювати межі робочого поля CVA з метою реалізації можливості візуального відстеження способу під'єднання елементів схеми, а також відслідковування процесу руху коліс таких як: швидкість та напрямок обертання.

В ході проведення експериментів було виявлено, що для обраної IP камери оптимальною відстанню до виконавчого органу CVA є 50-60 см. Для забезпечення безперервного потоку в режимі реального часу з мінімальною затримкою бажано обмежити розмір вихідного відео до 640x480 пікселів при частоті кадрів 20-24 к/с. Швидкість інтернет з'єднання при цьому повинна бути не менше 100 Мбіт/с при бітрейті в 3 кБайт. Для забезпечень всіх вимог безпеки слід використовувати протокол RTSP. Використання іншого, доволі розповсюдженого, протоколу HTTP

для під'єднання IP-камер може насамперед призвести до витоку конфіденційної інформації через відкритий обмін даними, оскільки HTTP передає дані у відкритому текстовому форматі. Наявність ненадійного механізму ідентифікації може викликати проблеми з безпекою доступу до камери, а відсутність шифрування може стати причиною перехоплення конфіденційної інформації, такої як паролі чи відеопотік. Такий протокол також залишається вразливим до різноманітних атак, таких як MITM, і може викласти веб-інтерфейс камери до потенційних вразливостей, збільшуючи ризик несанкціонованого доступу та атак.

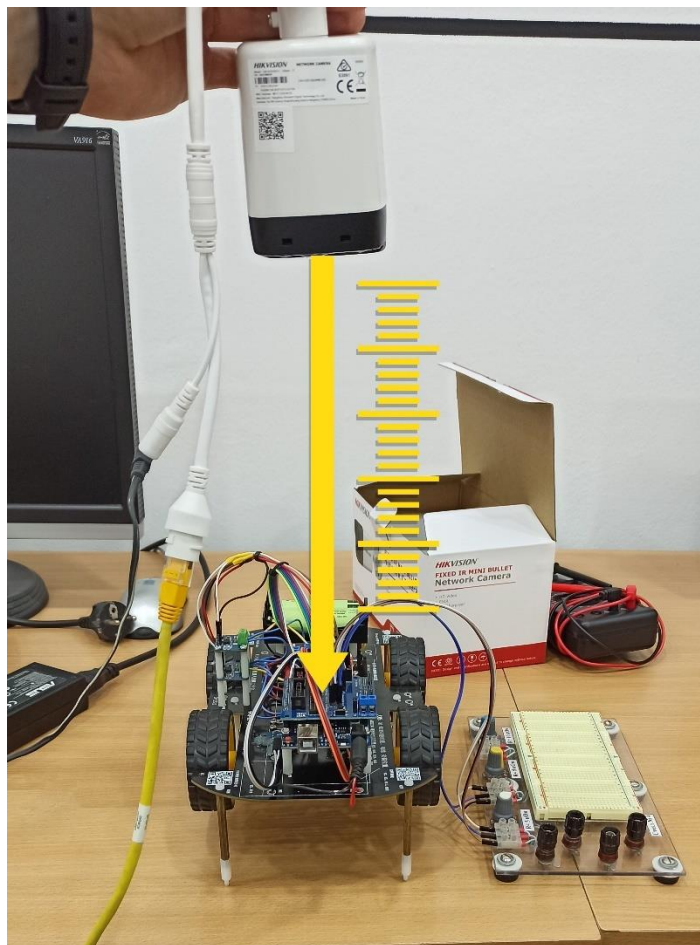


Рис. 5.6 Налаштування IP камери. Визначення дистанції та куту розміщення.

5.1.3. Крок 3: Розробка корпусу стенду

З метою визачення фінальної концепції будови навчального стенду було побудовано макет Рис. 5.7 з обраного матеріалу - труби Press Wall. За результатами макетування було зроблено наступні висновки:

- Досліджуваний об'єкт доцільно помістити в центр куба, що виконаний з труб Press Wall (Рис. 5.7, п.3). Така конструкція повністю задовольняє описані вимоги в пункті?.
- Для з'єднання труб між собою краще використовувати стандартизовані металеві кріплення (Рис. 5.8), замість пластикових (Рис. 5.7, п.1), з метою зміцнення конструкції та більш зручного закріплення досліджуваного об'єкта.
- До конструкції CVA слід додати додаткову пластину з оргскла (Рис. 5.7, п.4), що кріпиться до монтажних стійок (Рис. 5.5, п.3) для розміщення додаткового обладнання (Rpi), а також більш надійної фіксації в рамі.
- Мідні дроти (Рис. 5.7, п.2). Слід замінити на тонкий металевий трос, який за рахунок натягіння забезпечить надійну фіксацію CVA в просторі куба.
- Камеру також доцільно закріпити на рамі корпусу, використовуючи стандартні кріплення.

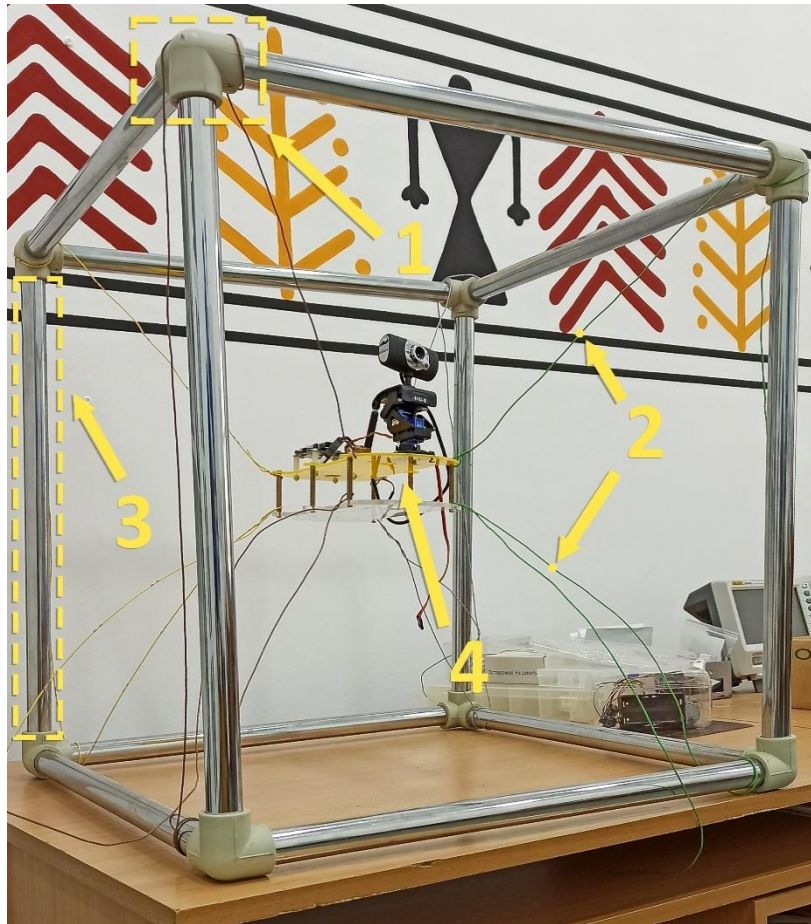


Рис. 5.7 Прототип корпусу CVA, де 1 – пластикові з'єднуючі елементи, 2 – натяжне кріплення, 3 – труби Press Wall, 4 – макет CVA з доданою пластиною з оргскла.



Рис. 5.8 Кріплення для труб Press Wall

Спираючись на отриманий досвід в процесі макетування було розроблено та побудовано корпус стенду CVA з труб Press Wall, який зображена на Рис. 5.9.

Металеві троси (Рис. 5.9, п.2) надійно фіксують в просторі стенд CVA за рахунок натягіння. Доданий ярус слугує для розміщення додаткового обладнання, такого як обрана Rpi. Розміщення IP-Camera безпосередньо на рамі стенду дозволяє уникнути потреби у використанні зовнішнього штативу та дозволяє з близької відстані контролювати процес виконання лабораторних робіт. Даний підхід дозволяє закріпити велику кількість моделей IP камер за умови використання саморобного перехідника (Рис. 5.9, п.4).

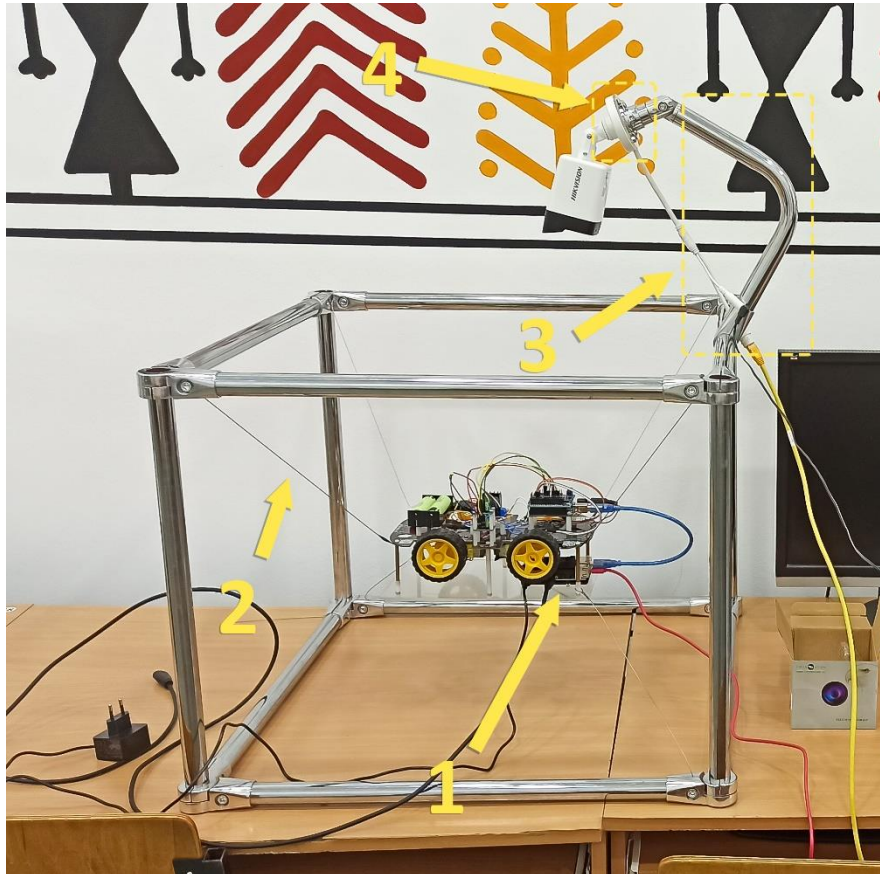


Рис. 5.9 Корпус стенду Car Vali, де 1 –Rpi, 2 – металеві троси, 3 – кріплення для IP-Camera, 4 – перехідник кріплення камери.



Рис. 5.10 Перехідник для кріплення IP-Camera

З метою імітації типових умов тестування режимів роботи електромобільного транспорту, за допомогою динамометричного стенду, було розроблено 3D модель 2 пластикових опори з роликами Рис. 5.11, Рис. 5.12. Дані ролики здатні створювати певний рівень фіксованого навантаження на DCM, що дозволяє аналізувати ефективність та динаміку їх роботи, при різній швидкості. Досліджувати різноманітні алгоритми керування, з точки зору енергоефективності, а також більш якісно оцінити перехідні процеси, що протікають в них.

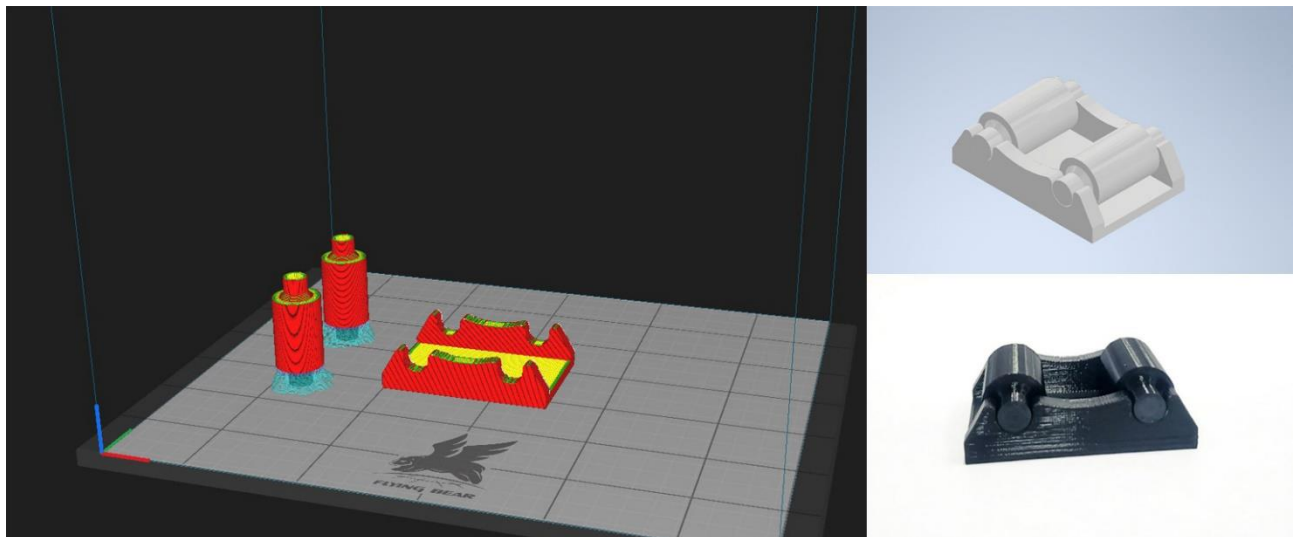


Рис. 5.11 Пластикові опори з роликами



Рис. 5.12 Процес друку пластикових опор з роликами

5.1.4. Структурна схема та зовнішній вигляд «Car Vali»

Фінальний склад обладнання, а також функціональна схема фінальної конструкції стенду «Car Vali» зображена на Рис. 5.13 та Рис. 5.14. Електрична принципова схема зображена на Рис. 5.15. Умовні позначення, що використовуються у схемах зведені у Таблиця 5.1?

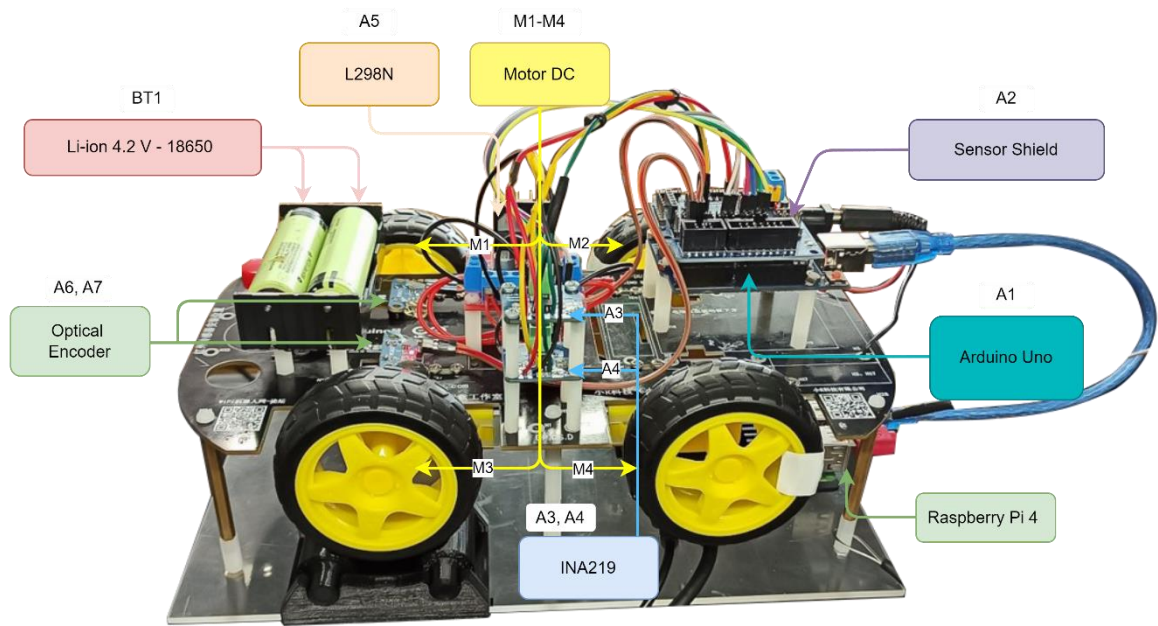


Рис. 5.13 Склад обладнання стенду Car Vali

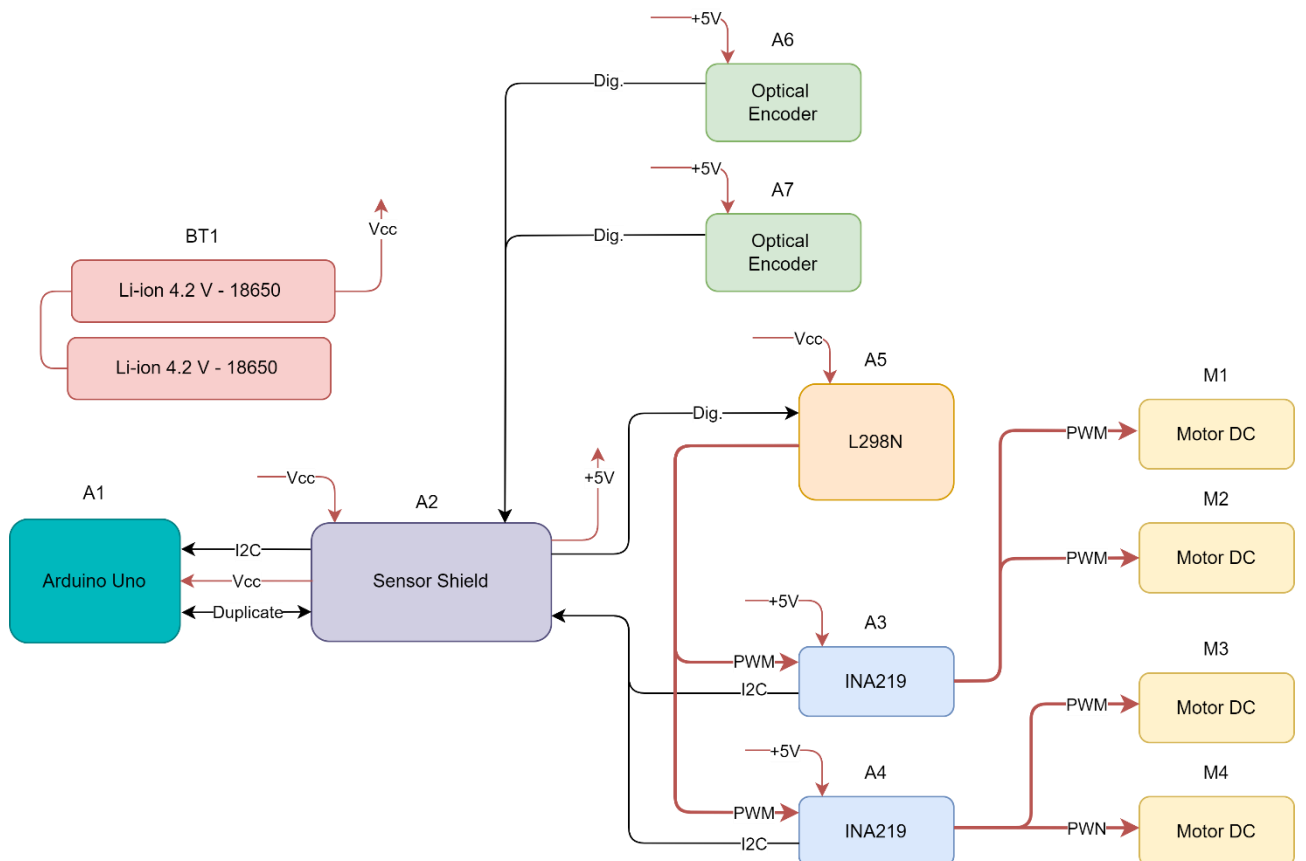


Рис. 5.14 Функціональна схема стенду Car Vali

Список умовних позначень на схемах:

A1	Система керування стенду «Car Vali» на базі контролера Arduino Uno
A2	Sensor Shield V5.0;
A3, A4	Модуль давача INA219;
A5	Двоканальний драйвер двигунів L298N;
A6-A7	Оптичний енкодер в поєднанні з колесом;
BT1	Li-ion акумулятори 18650;
M1-M4	Двигуни постійного струму EMC TT motor з редуктором 1:48 (двох-осьовий)

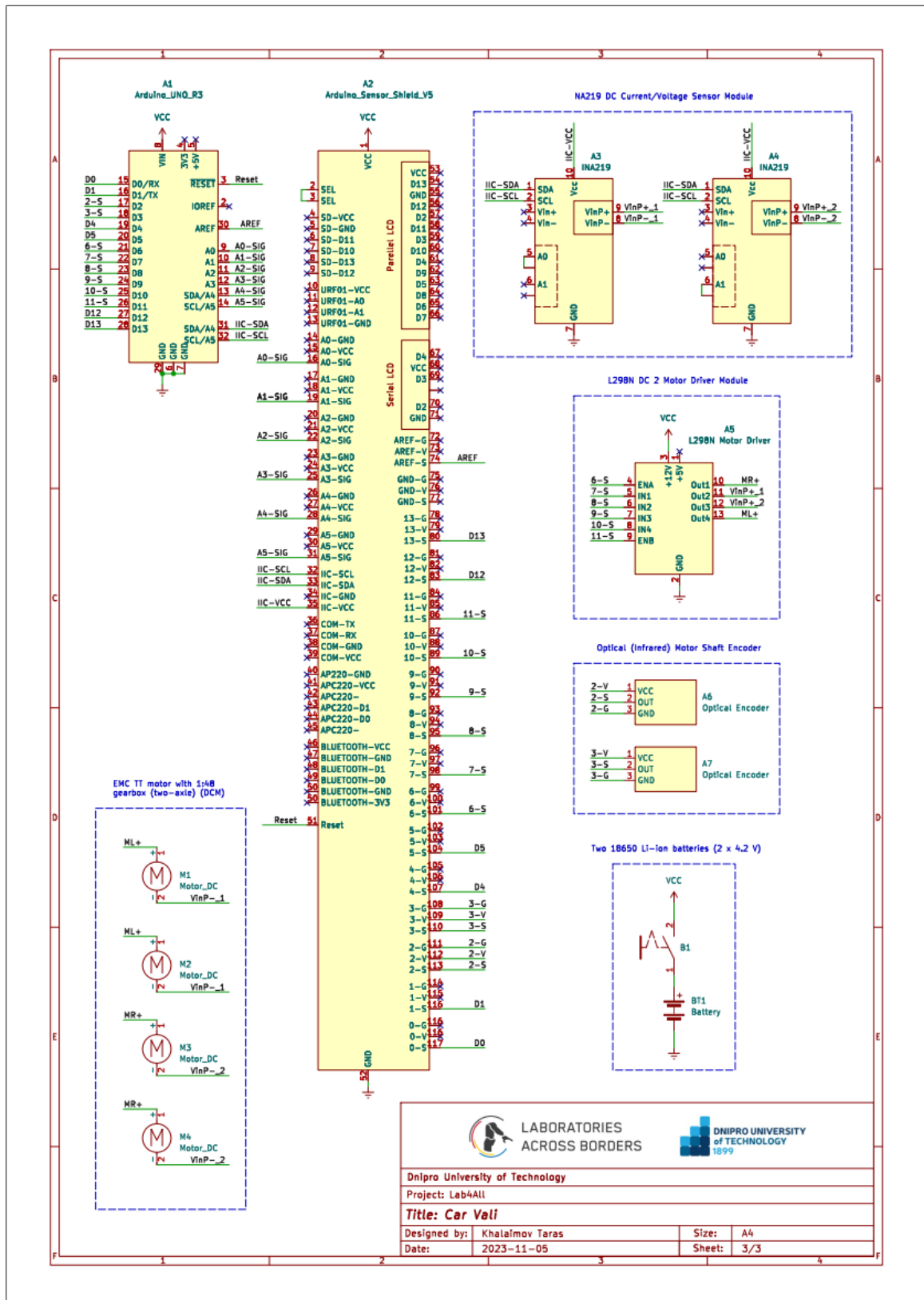
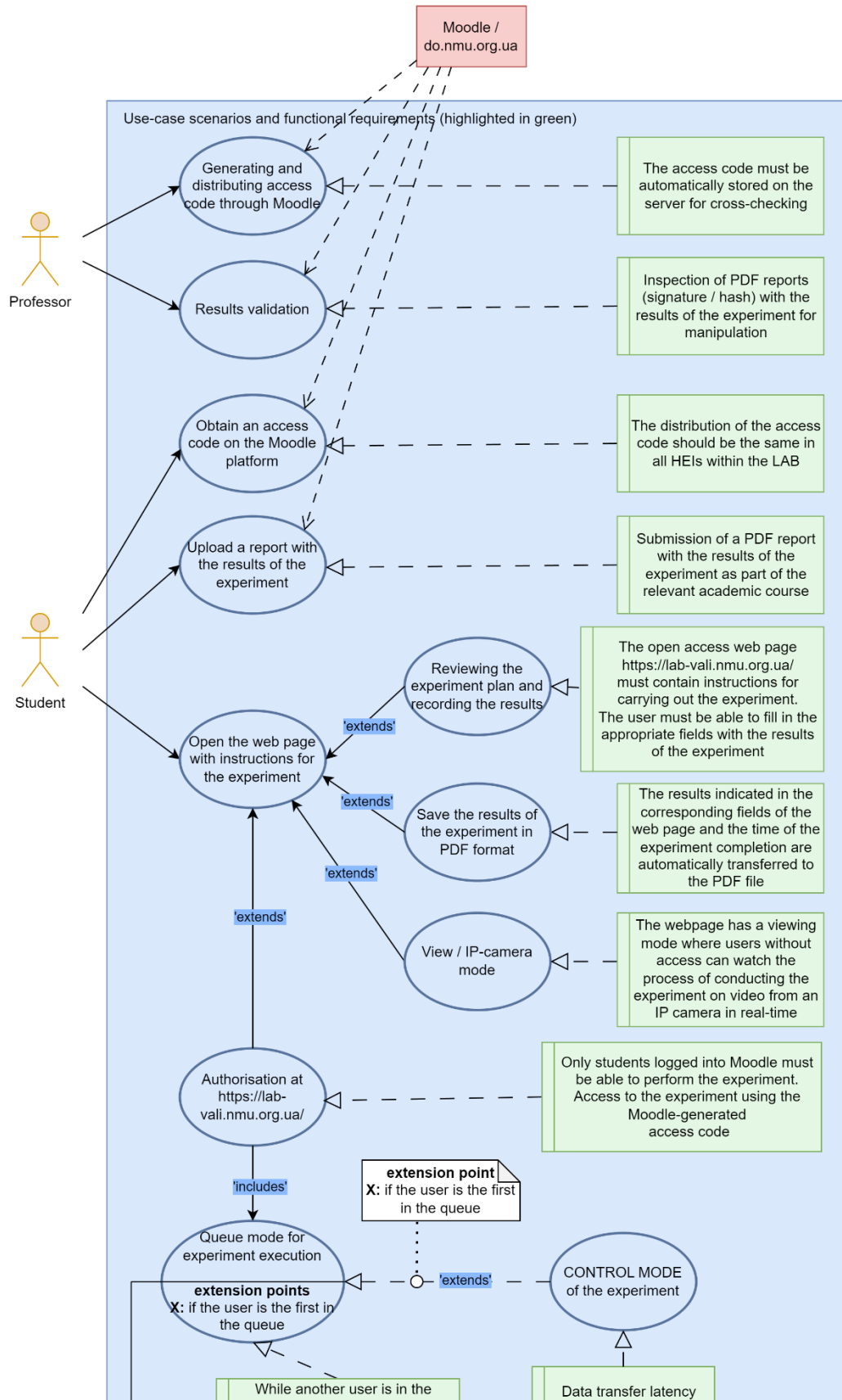


Рис. 5.15 Схема електрична принципова стенду Car Vali

5.2. Реалізація віддаленого керування

5.2.1. Сценарії взаємодії з віддаленим лабораторним стендом



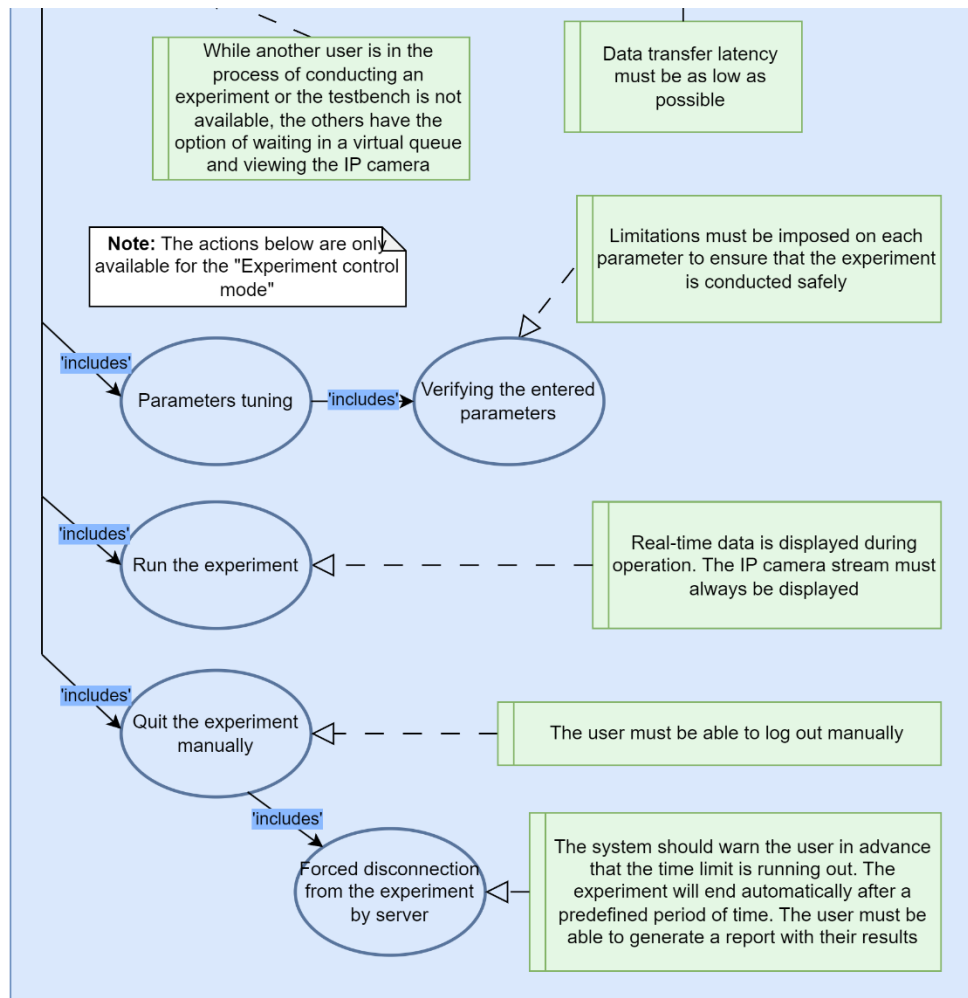


Рис. 5.16 Сценарії взаємодії

Типові сценарії взаємодії з лабораторним стендом віддаленого керування наведено на Рис. 5.16. Сценарій використання слід розуміти і читати як послідовність кроків зверху вниз.

5.2.2. Узагальнена структурно-алгоритмічна організація досліджуваної системи

На Рис. 5.17 наведена структурна схема розробленого архітектурного рішення апаратної частини для можливості реалізації концепції віддаленого моніторингу та керування, та подальшої розробки програмного забезпечення.

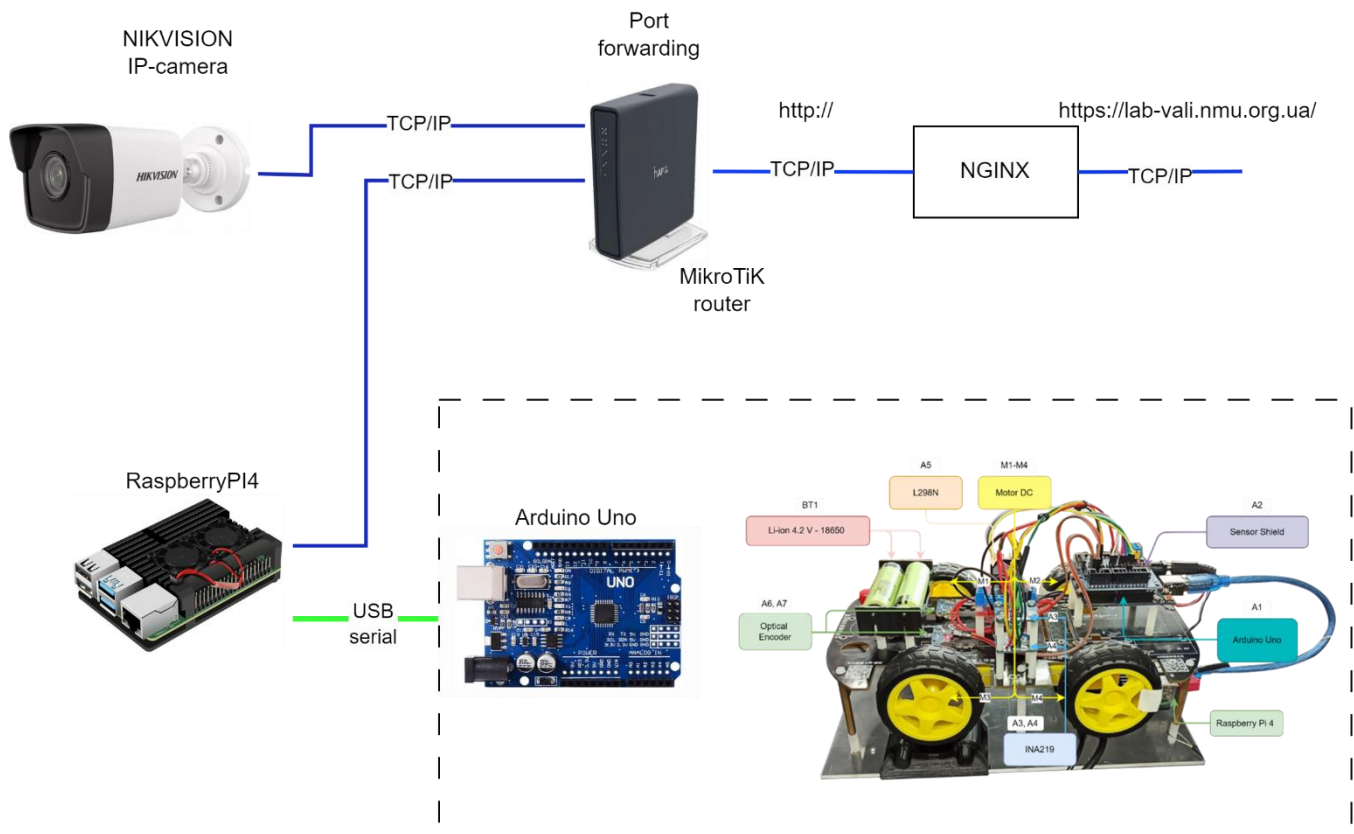


Рис. 5.17 Структурна організація досліджуваної системи

Структурна організація досліджуваної системи (Рис. 5.17) складається з інтегрованих компонентів, що спільно працюють для забезпечення ефективного та функціонального віддаленого моніторингу та керування лабораторним стендом. До основних елементів цієї системи входять:

- Raspberry PI4 виступає в ролі мастер-пристрою та центральної точки доступу для користувачів до системи. Реалізовано власний веб-сервер, що дозволяє виконувати моніторинг та керування лабораторним обладнанням через Інтернет з комп'ютера і та інших мобільних пристроїв. Надає користувачам зручний та безпечний доступ до інтерфейсу виконання експериментів через веб-браузер.
- Arduino Uno Rev3 відповідає за алгоритм керування, збір та передачу інформації до Raspberry. Взаємодіє з Raspberry по USB, забезпечуючи передачу даних та керування відповідно до заданих параметрів.

- Відеопотік з IP камери захоплюється та транскодується за допомогою Raspberry PI, що дозволяє зменшити навантаження на клієнта та оптимізувати передачу відеоданих до інтерфейсу користувача через мережу.

Загальна структура цієї системи дозволяє створювати віддалені лабораторні експерименти, об'єднуючи різноманітні технічні засоби та забезпечуючи зручний інтерфейс для користувачів, що сприяє успішній міжнародній співпраці та науковим дослідженням.

5.2.3. Опис обмежень при розробці системи віддаленого керування

При розробці системи віддаленого керування з описаною структурою апаратної частини може виникати ряд обмежень та викликів, які слід урахувати для успішної і стабільної роботи системи:

- Затримка та швидкість мережі: затримка у передачі даних через мережу по TCP/IP може вплинути на реальний час виконання віддалених експериментів та на UX користувача. При розробці системи слід урахувати можливість оптимізації протоколів та алгоритмів для зменшення затримок. Завдання, що вимагають високої точності та швидкості, можуть вимагати спеціалізованих алгоритмів передачі даних. Такий об'єкт керування як «Car Vali» має досить швидкі перехідні процеси. Тому, планується підведення гігабітного інтернет з'єднання враховуючи той факт, що цей лабораторний стенд є одним з багатьох, що розташовані в одному приміщенні і під'єднанні до однієї точки доступу.
- Безпека даних: безпека даних має вирішальне значення, особливо при передачі чутливої інформації через відкриті мережі. Важливо застосовувати сучасні методи шифрування та автентифікації для захисту конфіденційності та цілісності даних. Регулярне оновлення заходів безпеки важливе для запобігання можливим загрозам. У нашому випадку цей пункт реалізується за допомогою налаштування авторизованого доступу до виконання експерименту. Чутлива інформація не передається.

- Стабільність з'єднання: забезпечення стабільності з'єднання важливо для уникнення втрати даних чи відключення віддаленого доступу. Механізми відновлення та обробка помилок повинні бути належним чином реалізовані для забезпечення найвищої стабільності системи в умовах можливих перебоїв мережі.
- Керування завданнями в реальному часі: керування в реальному часі вимагає високої точності та надійності. Необхідно детально налаштовувати синхронізацію між компонентами системи та ретельно тестувати керування у режимі реального часу, щоб уникнути відхилень від поставлених задач.
- Інтеграція різних протоколів: Взаємодія з різними протоколами може потребувати вивчення деталей специфікацій та правильної інтеграції. Необхідно враховувати можливі конфлікти та зберігати сумісність між пристроями для ефективного обміну даними.
- Життєвий цикл обладнання: система повинна бути адаптивною до змін в життєвому циклі обладнання, таких як оновлення чи заміна компонентів. Слід забезпечити можливість легкої інтеграції нових пристроїв та резервних механізмів для забезпечення неперервної роботи системи.
- Оптимізація використання ресурсів: Raspberry PI та інші компоненти повинні ефективно використовувати ресурси для запобігання перевантаженню системи. Оптимізація коду та ресурсозберігаючі підходи допоможуть забезпечити стабільну та продуктивну роботу системи при мінімальному споживанні ресурсів.

Розробка системи віддаленого керування вимагає глибокого розуміння цих обмежень та вдосконалення системи для ефективного управління різноманітними завданнями в реальному часі в умовах різних мережевих умов та варіацій в життєвому циклі обладнання.

5.2.4. Реалізація концепції віддаленого керування

У цьому пункті представлено, як експеримент стає доступним в Інтернеті. Сюди входять сценарії взаємодії користувача з програмним забезпеченням (Рис. 5.17), а також внутрішній інтерфейс і обробка даних за університетським сервером (Рис. 5.17). Передача даних від користувача до експерименту і назад – це лише один з аспектів розділу. Показано, які заходи безпеки застосовуються для захисту даних. Розглядаються такі аспекти, як конфіденційність, цілісність, доступність і шифрування.

Відносно новою тенденцією є те, що внутрішній вміст університету передається назовні за межі локальної мережі. В даному випадку це буде саме передача пакетів даних зі значеннями датчиків і параметрів з внутрішньої комп'ютерної мережі (веб-сервер) до користувача (зовнішня мережа) і навпаки. Звичайно, інформаційно-комп'ютерний комплекс (ІКК) університету НТУ «Дніпровська політехніка» дозволяє випускати не всі типи даних, щоб запобігти можливим зловмисникам та атакам. Попередня концепція була перевірена і вдосконалена в цьому проєкті. Це було зроблено в тісній консультації з ІКК, щоб відповідати вимогам і отримати схвалення.

Окремі компоненти концепції обговорюються нижче. Метою цього є ізоляція користувацького інтерфейсу від центральної мережі університету. Для експерименту існує три зашифрованих з'єднання WebSocket ('wss') на порту 8080 між веб-сторінкою (фронтендом) і сервером DniproTech NGINX. Одне з'єднання призначене для передачі коду доступу, друге – для передачі даних експерименту, інше – для передачі зображення з камери в реальному часі. Доступ до експерименту Vali відбувається по зашифрованому з'єднанню HTTPS <https://lab-vali.nmu.org.ua/>. Далі починається внутрішня частина (локальна мережа) без шифрування, яка включає в себе веб-сервер на Raspberry Pi (бекенд) і сам експеримент на базі Arduino Uno. Концепція полягає у використанні Raspberry Pi який забезпечує авторизований доступ, передачу агрегованих даних від Arduino до інтерфейсу користувача, і керуючих впливів від користувача до експерименту Vali.

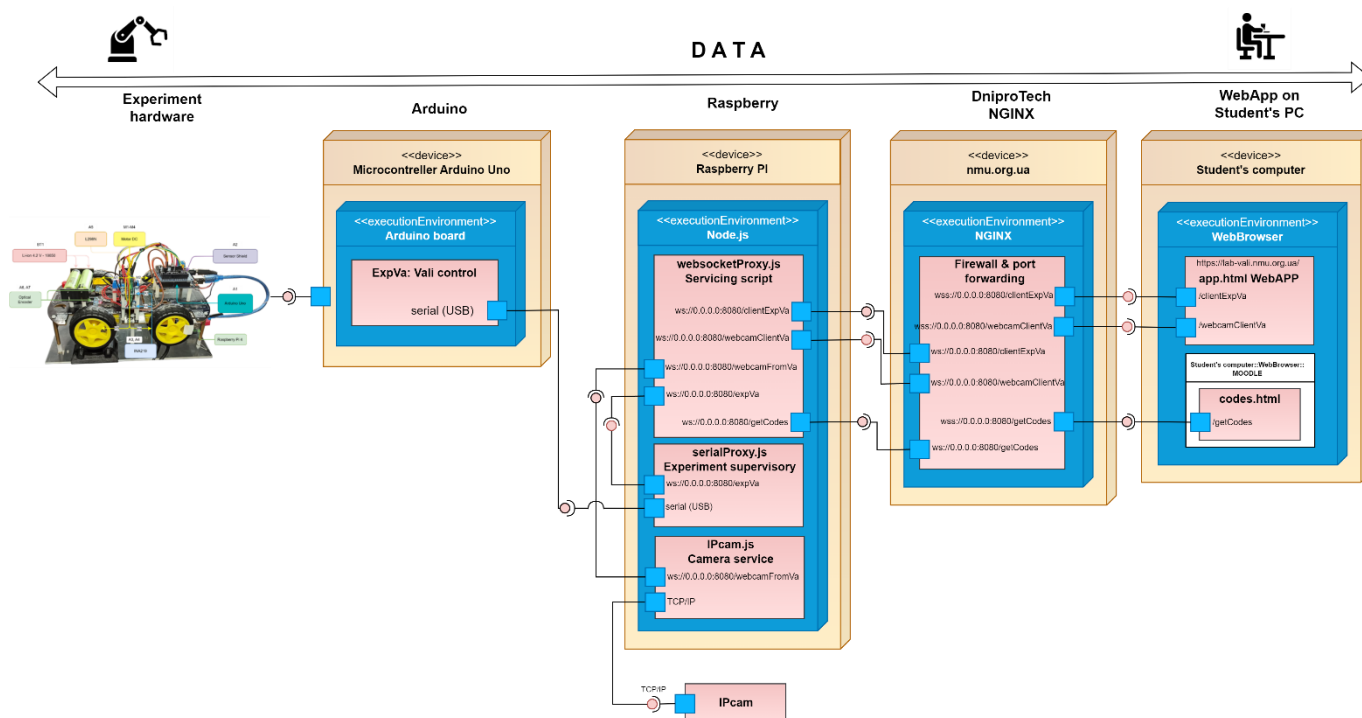


Рис. 5.18 Концепція віддаленого керування для Vali experiment

Код доступу генерується випадковим чином на веб-сервері кожні 30 секунд. Він надсилається через захищене з'єднання з веб-сокетом до HTML-файлу, який відобразить його там. Скрипт зберігається на Moodle у вигляді простого файлу. Доступ до коду доступу обмежений, тобто тільки для авторизованих студентів. Так як код не повинен просто відображатися на веб-сторінці у вільному доступі. З цієї причини в якості інструменту для авторизації було обрано Moodle.

Таким чином, будь-який студент, який має доступ до Moodle, може легко отримати код доступу (див. Рис. 5.19) і використовувати його на веб-сторінці експерименту <https://lab-vali.nmu.org.ua/>. Інші люди, які не мають доступу, не зможуть отримати код доступу, оскільки вони не матимуть доступу до HTML-файлу. Перевага полягає в тому, що немає необхідності передавати код доступу в усній формі через науково-педагогічних працівників університету. Однак цей принцип також має недоліки: HTML-файл на Moodle може бути легко завантажений студентами. Якщо цей файл потрапляє до сторонніх осіб, експеримент перестає бути захищеним. У можливому продовженні проекту ця проблема має бути усунена.

Deutsch (de) ▾

Григорій Дяченко ▾

Дистанційна освіта НТУДП / Distance education of NTUDP

[Startseite](#)

Administration

- ▼ Einstellungen der Startseite
 - [Fragensammlung](#)

Navigation

- ▼ **Startseite**
 - 📊 Dashboard
 - ▼ Meine Kurse
 - 📖 [Модельовання електротехнічних та електромеханічних систем](#)

Microsoft

Григорій Sie sind aktuell mit Microsoft 365 verbunden

Sandbox Experiment Plattform LAB

[Meine Kurse](#) / [Meine Kurse](#) / [LAB Sandbox](#) / [Abschnitte](#) / [Access codes for all experiments](#) / [Access Codes for all experiments](#) ⚙

Current Code (will be resetted every 30 seconds)

Wait...

Рис. 5.19 Реалізація codes.html в MOODLE, який показує поточний код доступу

Комунікації на різних архітектурних рівнях розробленої системи віддаленого керування проілюстровано на Рис. 5.20. Це зроблено для того, щоб показати, який скрипт взаємодіє через яке з'єднання. Звичайно, існують деякі особливі випадки, які не можуть бути проілюстровані тут. З цієї причини показано лише стандартний потік, коли користувач керує експериментом.

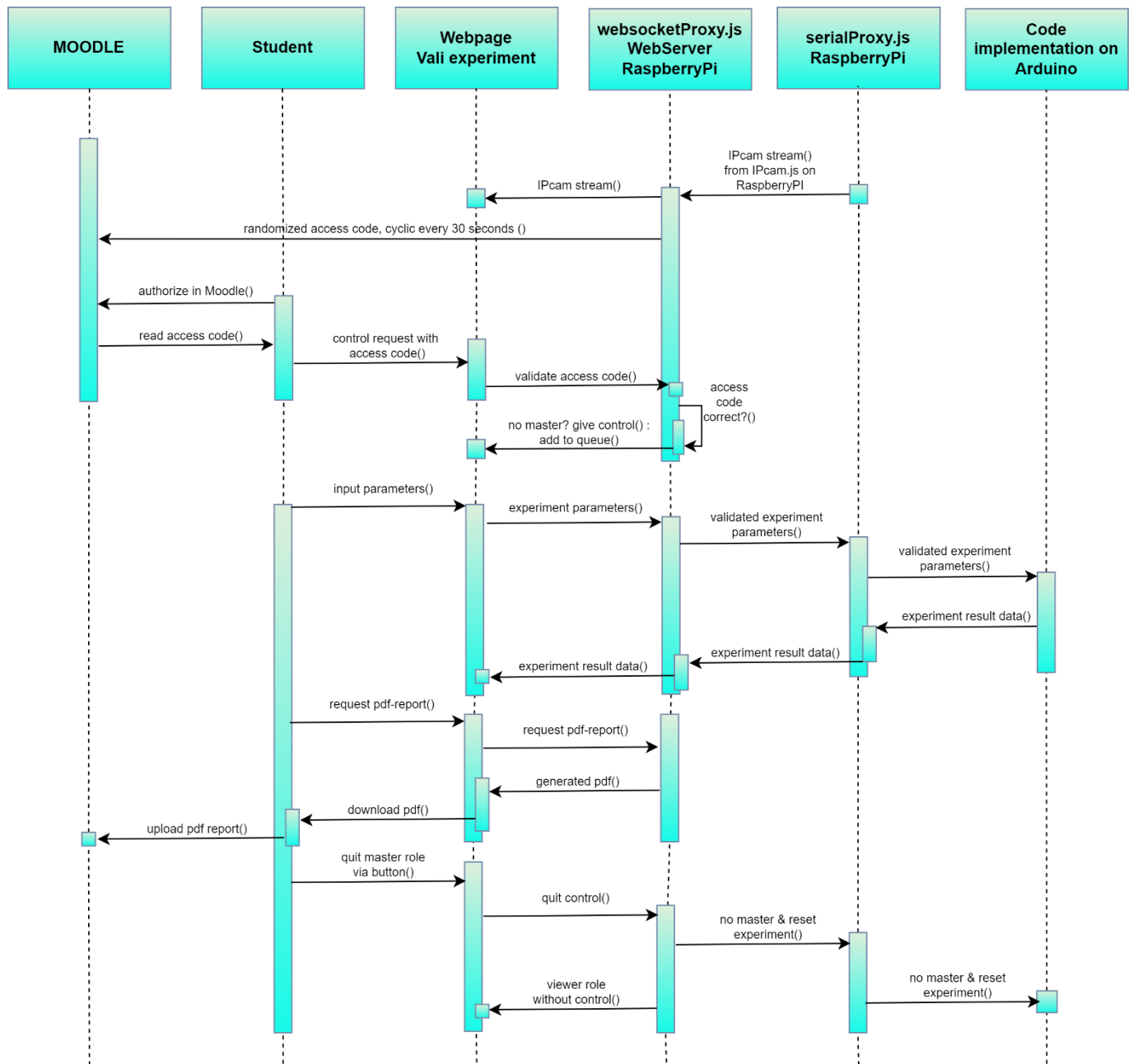


Рис. 5.20 Базова схема комунікації на різних архітектурних рівнях розробленої системи віддаленого керування

5.3. Створення web-сторінки

5.3.1. Загальний підхід до створення веб сторінки на Raspberry Pi.

Raspberry Pi 4 - це одноплатний комп'ютер, розроблений Raspberry Pi Foundation. Він підтримує різні операційні системи, включаючи Raspberry Pi OS (раніше відому як Raspbian), Ubuntu та інші, що дозволяє користувачам запускати широкий спектр додатків і проектів. Спеціальні підходи до створення веб сторінки

для можливості роботи з Raspberry Pi не потрібні, лише стандартні засоби, такі як HTML, CSS, JavaScript і т.п.

5.3.2. Налаштування відеопотоку з IP камери

На сьогоднішній день виробники IP-камер, як правило, не надають несанкціонованого доступу до відеопотоку з міркувань безпеки. Для використання відеопотоку в Raspberry Pi він повинен бути без логіна/пароля. Крім того, використання сервера між комп'ютером користувача та IP-камерою дозволить отримати доступ багатьом користувачам, що є справжньою трансляцією, на відміну від прямого підключення до IP-камери, яке зазвичай обмежене.

Рішенням є перекодувати H.264 в MJPEG. (за допомогою Raspberry Pi).

При першому запуску налаштовуємо Raspberry Pi відповідно до кроків наданих в [25]. Далі виконуємо команди:

```
sudo apt update
sudo apt upgrade
sudo apt-get install nodejs      #runtime environment node.js
sudo apt-get install vlc         #vlc player installation
sudo apt-get install ffmpeg     #ffmpeg installation
```

Доступ до потоку IP-камери можна отримати через RTSP. Створюємо IPcam.js скрипт з наступним змістом:

```
const vlcProcess = spawn('cvlc', [
  '-Idummy',

  'rtsp://IP_CAMERA_LOGIN:IP_CAMERA_PASSWORD@IP_CAMERA_IP:PORT/Streaming/Channels/102', // Change this URL as needed
  '--sout',
  '#transcode{vcodec=MJPEG,fps=25,vfilter=canvas{width=640,height=360}}:standard{access=http{mime=multipart/x-mixed-replace;boundary=---7b3cc56e5f51db803f790dad720ed50a},mux=mpjpeg,dst=TARGET_IP:PORT/}', //
  'Change this as needed

  '--no-sout-all',
```

```

        '--sout-keep'
    );

    // Send the VLC stream to server
    const stream = spawn('ffmpeg', [
        '-i', 'http://TARGET_IP:PORT', // Use the port you specified for VLC
        '-s', '640x360',
        '-r', '25',
        '-c:v', 'mpeg',
        '-q:v', '14', // Adjust the quality factor (1-31). Lower values result in higher
quality.
        //'-b:v','1M',
        '-f', 'image2pipe',
        '-'
    ]);

    // Pipe the stream data
    stream.stdout.on('data', (data) => {
        // Send the data to connected WebSocket clients
        //console.log("took image from stream");
        ws.send(data, { binary: true });
    });

    stream.stderr.on('data', (errorData) => {
        console.error(`Child process error: ${errorData}`);
    });

```

У команді вище вхідний відеопотік `rtsp://login:password@ip-address:port/link_to_stream`, де `login` та `password` – це логін та пароль для авторизації в камері, `ip-address:port/link_to_stream` – посилання на `rtsp` стрім, що прописано у налаштуваннях камери. Також можна вказати лише порт призначення `dst=:8888`, а IP-адресою буде IP-адреса Raspberry Pi для отримання доступу до потоку. Вихідна URL-адреса трансляції має вигляд `http://localhost:8888`, або, натомість `localhost`, IP-адреса Raspberry Pi.

За допомогою PM2 [26] налаштовано автозапуск скрипта при рестарті Raspberry Pi або у разі виникнення помилок транскодування відеопотоку.

Налаштування в скрипті веб-камери включають роздільну здатність, якість і формат, а також частоту кадрів. Цей скрипт веб-камери, як правило, є дуже інтенсивним в обчислювальному плані і займає багато обчислювальної потужності Raspberry Pi.

5.4. Опис реалізованого інтерфейсу

5.4.1. Доступ до експерименту

Доступ до web-інтерфейсу віддаленого керування лабораторної роботи виконується за допомогою більшості сучасних web-браузерів (Chrome, Opera, Firefox тощо).

Для отримання доступу до віддаленого експерименту стенду CVA необхідно скористатись посиланням (Кнопка «CAR VALI» Рис. 5.21), яке доступне на сайті кафедри електропривода Dnipro University of Technology [27], де також знаходиться загальний опис проекту та посилання на методичні вказівки.



Даний експеримент присвячений питанням формування траєкторії руху робота-електромобіля «CarVali», який має проїхати по ротонді, вписуючись у ширину допустимої зони (Allowed zone) дороги (Рис.1) користуючись органами керування, які реалізовані у web-інтерфейсі віддаленого керування.



Рис. 1. Досліджуваний відрізок дороги – ротонда

Посилання на сторінку експерименту:

CAR VALI

Методичні вказівки:

«Вивчення конструкції, параметрів та принципу роботи лабораторного стенда електромобіля «Car Vali»

Рис. 5.21 Сторінка «Car Vali» на сайті Dnipro University of Technology

Після переходу на сторінку експерименту CVA для отримання доступу до керування експерименту слід виконати наступні кроки, які показано на Рис. 5.22.

Step #1: Ознайомитись з інформаційним вікном та натиснути кнопку Open Vali Experiment Screen.

Step #2: Оцінити поточний статус вашого підключення. Статус «You are just wathing» означає, що ви на даний момент не маєте права на керування стендом.

Step #3: Для під'єднання до експерименту слід звернутись до викладача, який надасть спеціальний код доступу, який згенерований HTML сторінкою, що комунікує з сервером.

Step #4. Отриманий трьох значний код слід ввести у полі «Session Code» вікні «Take control to experiment», яке відкривається при натисканні кнопки «Request control» (Step #2).

Step #5. Після введення коду доступу успішність отримання прав на керування стендом можна оцінити за допомогою вікна «You are now the master of control the experiment» та зміною статусу кнопки «Request control» (Step #2) з «You are just wathing» на «You've got the power».

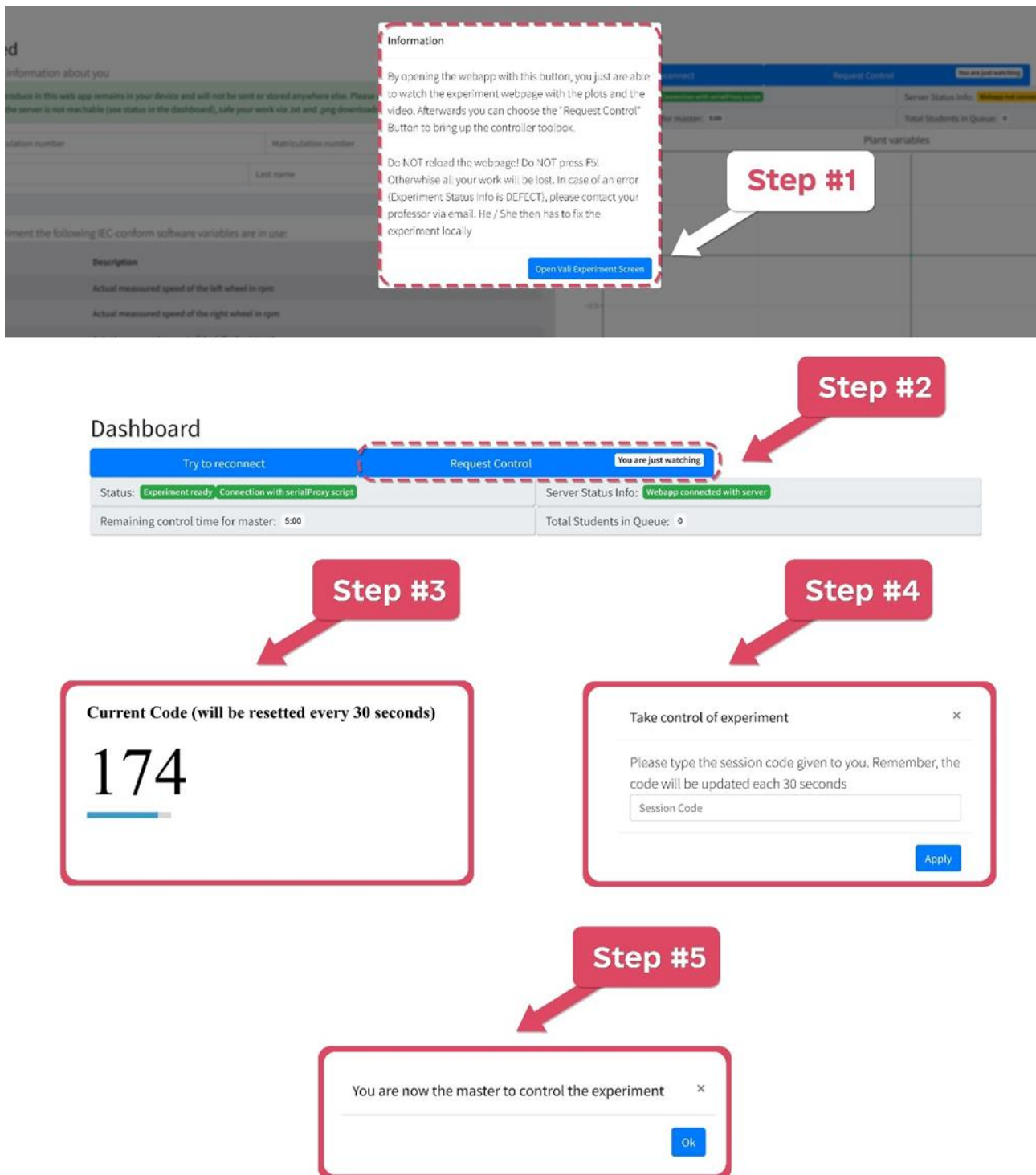


Рис. 5.22 Процес отримання доступу до CVA

На сторінці стенду CVA реалізовано можливість запису в чергу на керування лабораторним експериментом. Користувач, який ввів код доступу та отримав контроль над експериментом бачить на сторінці відповідний індикатор «You've got the power» (Рис. 5.23, п.1) на кнопці «Request control». Кількість часу, яка відведена на виконання роботи, відображається у вигляді зворотного таймера (Рис. 5.23, п.2). Для того щоб встати в онлайн чергу на можливість керування стенду наступному користувачу слід виконати всі кроки, що описані вище. Після вводу свого коду доступу користувач отримує свій номер у черзі. Кількість студентів у черзі можна побачити у вікні «Dashboard» пункті «Total Students in Queue» (Рис. 5.23, п.3). Користувач, що знаходиться у черзі, бачить свій статус «You are in the Queue» на кнопці «Request control» та має можливість вийти з черги за допомогою кнопки «Leave Queue» (Рис. 5.23, п.5).

На сторінці також передбачений механізм подовження часу керування експериментом для «майстра» користувача. Коли час добігає кінця сторінка автоматично пропонує одноразово подовжити час доступу на 2 хвилини (Рис. 5.23, п.6). В разі подовження часу за допомогою кнопки «Yes, 2 more minutes» зміниться індикатор залишку часу «Remaining control time for master» (Рис. 5.23, п.7), з вказанням залишку часу «Got extra minutes».

Dashboard

Try to reconnect	Request Control	You've got the POWER	Quit control manually
Status: Experiment ready Connection with serialProxy script	Server Status Info: Webapp connected with server		
Remaining control time for master: 4:41	Total Students in Queue: 0		

Dashboard

Try to reconnect	Request Control	You've got the POWER	Quit control manually
Status: Experiment ready Connection with serialProxy script	Server Status Info: Webapp connected with server		
Remaining control time for master: 4:04	Total Students in Queue: 1		

Dashboard

Try to reconnect	Request Control	You are in the Queue	Leave Queue you are on position: 1 (ca. 5 min)
Status: Experiment ready Connection with serialProxy script	Server Status Info: Webapp connected with server		
Remaining control time for master: 2:08	Total Students in Queue: 1		

Time extension

You are reaching the end of your Control-time. (Ca. 1 minute left). Do you want a one-time 2-minute extension?

Yes, 2 more minutes
No

Dashboard

Try to reconnect	Request Control	You've got the POWER	Quit control manually
Status: Experiment ready Connection with serialProxy script	Server Status Info: Webapp connected with server		
Remaining control time for master: 0:48 Got extra 2 minutes	Total Students in Queue: 1		

Рис. 5.23 Черга на доступ CVA

Control Engineering
Innovative Energy Systems
LAB Experiments

Report

Vali experiment



**DNIPRO
UNIVERSITY
of TECHNOLOGY**
1899

LABORATORIES
ACROSS BORDERS

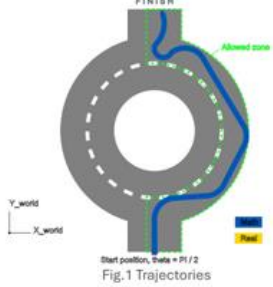


Fig.1 Trajectories

General information		
Registration number	Test	123
Last name, First name	Test1	Test2
Test bench	Vali	

Setpoints		
vaSpeedASetp	vaSpeedBSetp	vaDistanceSetp
60	60	60
90	60	60
90	90	60
60	90	41
90	90	41
90	90	41
60	90	41
90	90	73
90	90	73
60	90	73
90	30	50
90	120	66

Summary table			
Calculated data		From Arduino	
x	y	x	y
0	59.22		
36.52	99.71		
96.09	103.95		
129.09	124.91		
147.43	160.25		
165.77	195.6		
165.15	234.69		
127.99	296.34		
90.83	357.99		
28.28	366.48		
4.01	387.31		
12.72	447.53		

Test questions	
Q1: Please explain in your own words why there are so much differences between data that we get from mechanism and calculations.	
Q2: Calculate the change of (x;y) coordinates, if linear speed $V_x = 65 \text{ sm/s}$, angle $\theta = 3\pi/4$, time step $\Delta t = 0.1 \text{ s}$.	
Q3: Calculate the rover's angular speed ω_x , if speeds of the wheels $RPM_{left} = 210 \text{ rpm}$, $RPM_{right} = 120 \text{ rpm}$, radius of the wheel $R = 3.25 \text{ sm}$ and rover length $L = 16 \text{ sm}$.	
Q4: Which physical characteristic was not taken into account for calculations?	
Q5: Which speed values will not be processed?	
Q6: What data is necessary to fill in the Real/Mathematical Data table?	

Test questions	
Q7: How is the rotation speed of motors M1 and M3 measured?	
Q8: How is the dual motor driver L298N (A5) utilized?	
Q9: What variable name is used to denote the measured speed of both wheels?	
Q10: What data can be measured using INA219 sensors (A3-A4) on each of the L298N (A5) channels?	

General data	
Date	Tue Dec 19 2023 15:15:33 GMT+0200
Key	174

Рис. 5.24 Звіт лабораторної роботи CVA

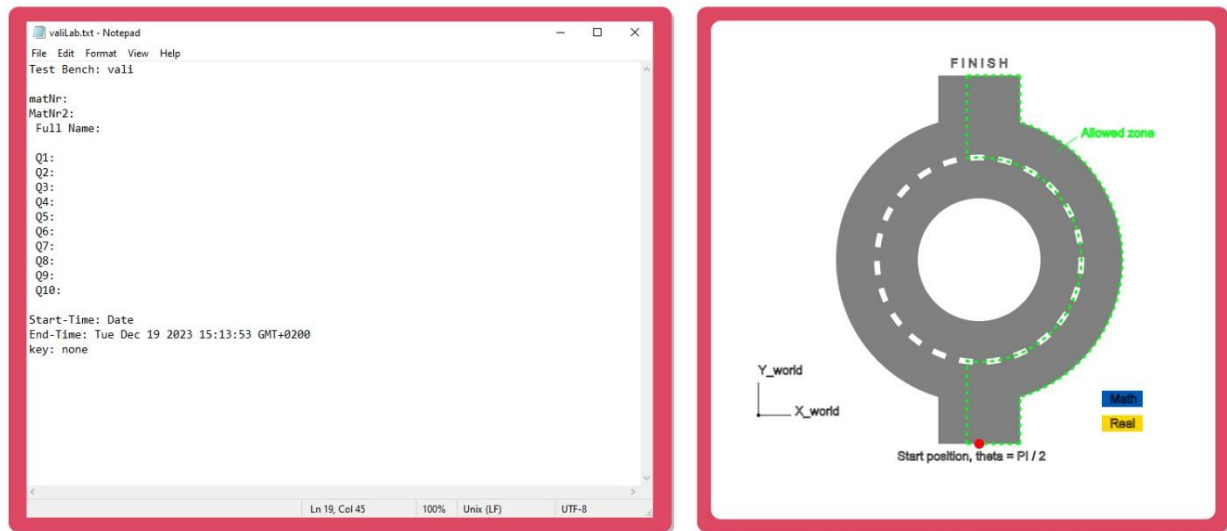


Рис. 5.25 Резервні вихідні дані виконання лабораторної роботи CVA

5.4.2. Інтерфейс лабораторної роботи

Доступ до web-інтерфейсу віддаленого керування лабораторної роботи виконується за допомогою більшості сучасних web-браузерів (Chrome, Opera, Firefox тощо).

Вкладка «Home»:

Для виконання лабораторної роботи спершу слід перейти за [посиланням](#) на web-інтерфейс «Car Vali». Користуючись кнопкою «Request Control» панелі «Dashboard» (Рис. 5.26, п.3) ввести трьохзначний код доступу, який надасть викладач. Після успішного під'єднання слід ввести свої персональні дані у полі «Getting started» (Рис. 5.26, п.2). Введені дані використовуються тільки для формування автоматичного звіту та не зберігаються на сервері чи в будь якому іншому вигляді. Для успішного формування звіту слід переконатись, що у вас вимкнені всі засоби блокування реклами (Adblock, uBlock, вбудовані інструменти браузера тощо). Після заповнення даних можна переходити на вкладку «Experiment» користуючись панеллю (Рис. 5.26, п.1).

Також на вкладці «Home» можна знайти наступні інструменти:

- вікна перегляду графіків «Plant variables» (Рис. 5.26, п.5);
- переліку змінних, що відображаються на графіку (Рис. 5.26, п.6);

- перемикача допоміжних графічних елементів (Рис.7, п.4): вікна перегляду відео в режимі реального часу з IP-камери та графічних показників швидкості (rpm та km/h);

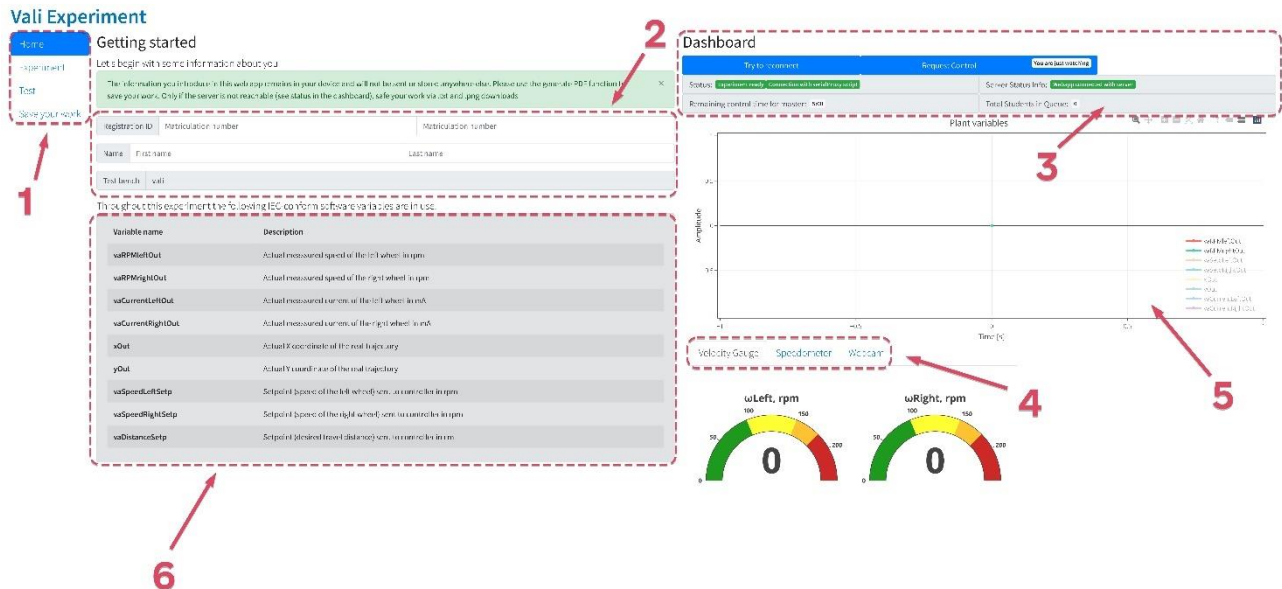


Рис. 5.26 Вкладка «Home» web-інтерфейсу керування CVA

Вкладка Experiment:

Вкладка «Experiment» призначена для керування стендом CVA. Головна мета лабораторної роботи - проїхати по ротонді, вписуючись у ширину допустимої зони (Allowed zone) дороги (Рис. 5.27, п.5). користуючись органами керування, які представлені у вигляді повзунків поля «Set setpoint» (Рис. 5.27, п.1).

Призначення повзунків:

- vaSpeedLeftSetp [-210 210] – задає швидкість руху лівих коліс в межах [-210...210] об/хв.
- vaSpeedRightSetp [-210 210] – задає швидкість руху лівих коліс в межах [-210...210] об/хв.
- vaDistanceSetp [0 100] – задає відстань переміщення робота-автомобіля в межах [0...100] см.

Користуючись даними повзунками слід задати відрізки шляху (хорди) вздовж ротонди, які будуть описувати траєкторію руху CVA в рамках допустимої зони від точки «Start position» до лінії «Finish» (Рис. 5.27, п.5). Додавання кожного відрізка здійснюється за допомогою кнопки «Add setpoint to queue» поля «Set setpoint» (максимум 15 відрізків). Всі введені хорди відображаються у полі «Setpoints List» (Рис. 5.27, п.2), а також на інтерактивному графічному елементі з зображенням ротонди «Track for the experiment» (Рис. 5.27, п.5) синім кольором (Math). У полі «Real/Mathematical Data» (Рис. 5.27, п.6) стовпчиках «Setpoint data» автоматично розраховуються координати положення CVA в системі координат x_{world}, y_{world} . У випадку необхідності видалення введених точок в інтерфейсі передбачена кнопка «Remove» в полі «Setpoints List».

Після завдання необхідної кількості точок для досягнення лінії «Finish» слід відправити їх в якості завдання на досліджуваний об'єкт CVA. Для запуску відпрацювання слід натиснути перемикач on/off поля «Run Experiment» (Рис. 5.27, п.4). За ходом виконання експерименту слід спостегати за допомогою графіку, обравши бажані параметри за допомогою поля (Рис. 5.27, п.3), а також відео з IP камери в режимі реального часу.

Після закінчення віпрацювання слід визначити координати реального об'єкта «Car Vali» (x_{world}, y_{world}) користуючись показниками з графіків. Після чого перенести їх у коле відповіді таблиці «Real/Mathematical Data» (Рис. 5.27, п.6) стовпчиків «Real object's data». За формою отриманої траєкторії руху можна стостерігати за допомогою «Track for the experiment» - крива жовтого кольору (Real).

Після успішного виконання експерименту слід перейти на вкладку «Test».

Vali Experiment

Рис. 5.27 Вкладка «Experiment» web-інтерфейсу керування CVA

Вкладка «Test»:

Для успішного виконання лабораторної роботи слід відповісти на всі теоретичні питання, які представлені у полі «Test your knowledge» (Рис. 5.28, п.1).

Всі вказані відповіді будуть додані до звіту, що автоматично генерується. Щоб згенерувати звіт слід перейти на вкладку «Save your work».

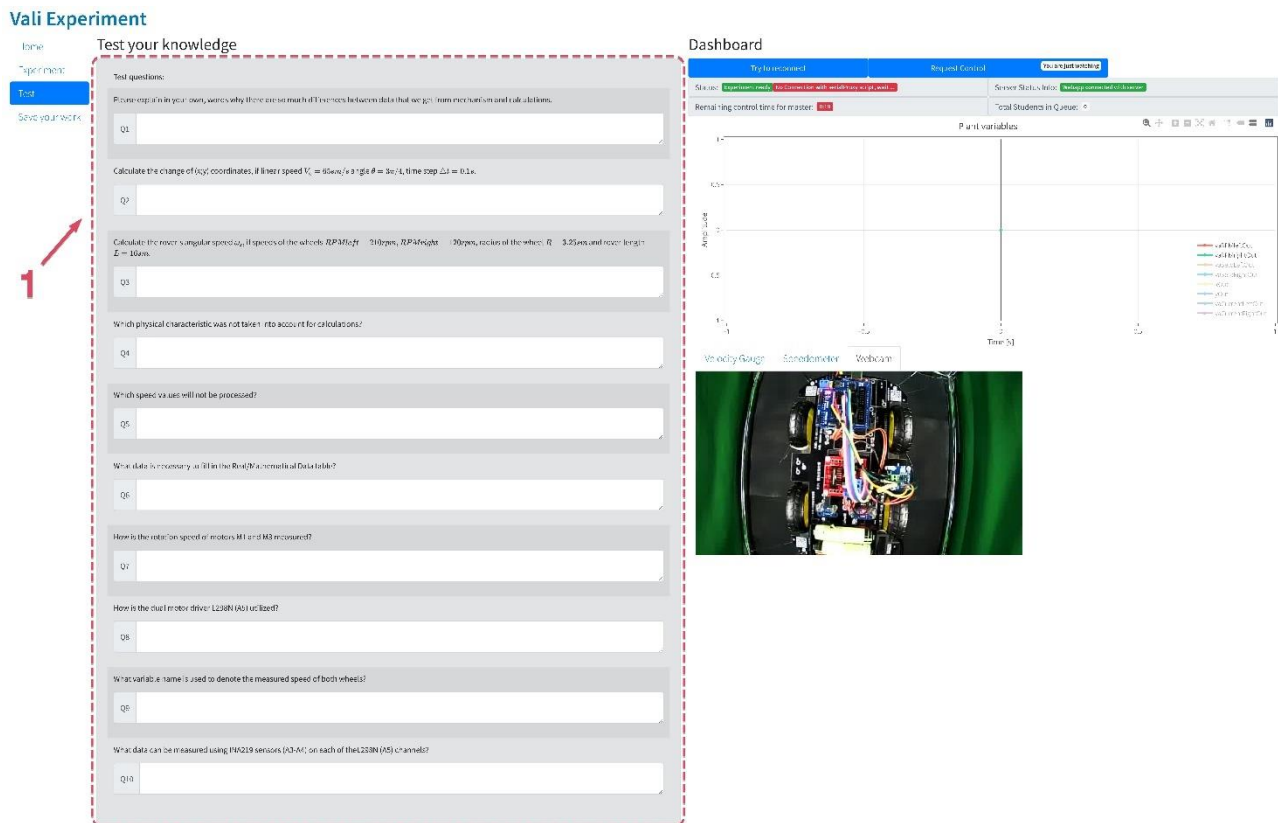


Рис. 5.28 Вкладка «Test» web-інтерфейсу керування CVA

Вкладка «Save your work»:

Для генерації звіту слід натиснути на кнопку «Generate my report as PDF!» (Рис. 5.29, п.3). У фінальному звіті фіксується дата, час, а також код доступу користувача (Рис. 5.29, п.1).

Слід обов'язково звертати увагу на попередження (Рис. 5.29, п.2) щодо необхідності вимкнення всіх програмних засобів, які призначенні для автоматичного блокування реклами. На випадок збою системи формування звіту в системі передбачений захист у вигляді можливості завантаження всіх введених даних у

Розділ 5. Реалізація

форматі .txt, а також скріншота поля (Рис. 5.27, п.5). Структуру звіту представлено на Рис. 5.24. Він має поля вводу, які можна легко заповнювати користуючись будь-яким PDF рідером та відновити дані з txt. ввівши їх вручну Рис. 5.25.

Після формування звіту – слід надіслати його вашому викладачу для отримання гарної оцінки!

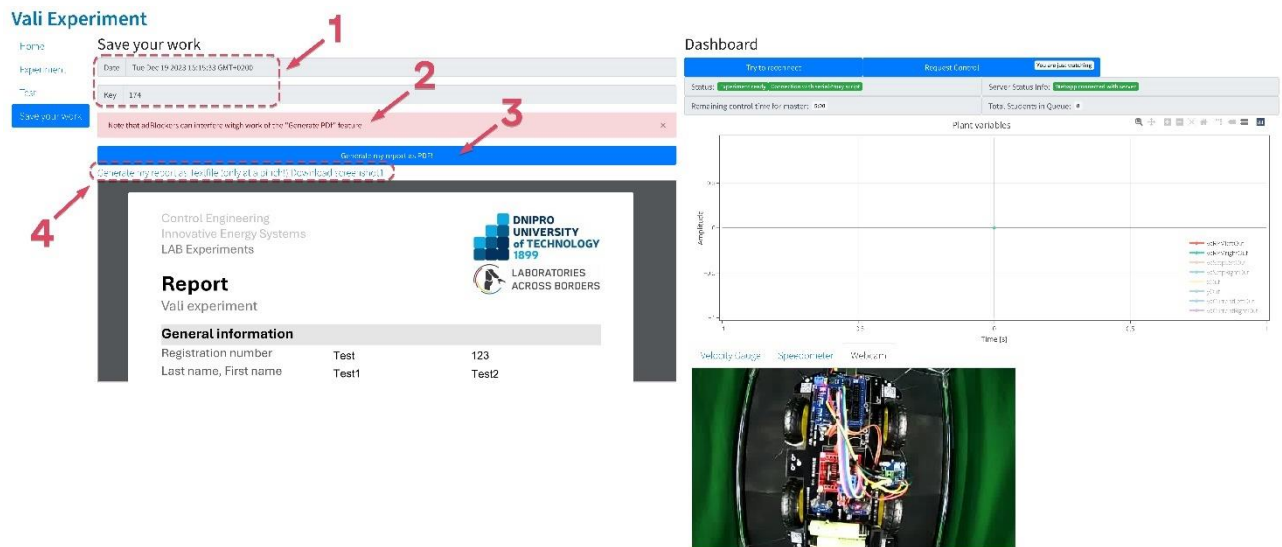


Рис. 5.29 Вкладка «Save your work» web-інтерфейсу керування CVA

5.5. Висновки до п'ятого розділу

В рамках даного розділу було описано процес конфігурації та налаштування налаштування обраного обладнання з метою створення віддаленого інтерфейсу керування експерименту CVA. Даний експеримент присвячений питанням формування траєкторії руху робота-електромобіля «CarVali», який має проїхати по ротонді, вписуючись у ширину допустимої зони користуючись органами керування, які реалізовані у web-інтерфейсі.

Створений інтерфейс відповідає всім заявленим вимогам та адаптований для реалізації навчального процесу в академічних групах за рахунок наявності можливості отримання управління стендом тільки одним користувачем за раз («майстром») та подальшої зміни користувача в рамках онлайн черги. Наявність

індивідуального коду доступу та формування автоматичного звіту дозволяє більш легко ідентифікувати кожного виконавця та спростити процес виконання лабораторної роботи з боку учня, та перевірки результату з боку викладача.

Оскільки сервер не зберігає жодної інформації про користувача, а використовує її тільки для формування автоматичного звіту, можна бути впевненим в конфіденційності та в цілому дотриманні вимог кібер безпеки.

Обраний лабораторний експеримент має як інтерактивну графічну частину так і практичну, яка задіює реальний об'єкт. Така взаємодія дозволяє краще візуалізувати процес переміщення CVA вздовж описаної ротонди, що оформує чітке уявлення про процеси що відбуваються у спрощеній моделі електромобіля під час руху. Графік реального часу, що відображає дані з датчиків в режимі реального часу, дозволяє вивчати вплив ступеню впливу різної динаміки руху на перехідні процеси, що протікають у DCM.

Завдяки налаштуванню IP камери вдалось досягти мінімальної затримки при роботі та отримати відображення руху в режимі реального часу.

Повну структурну схему стенду, яка враховує всі додані комунікаційні елементи можна побачити на рис.?

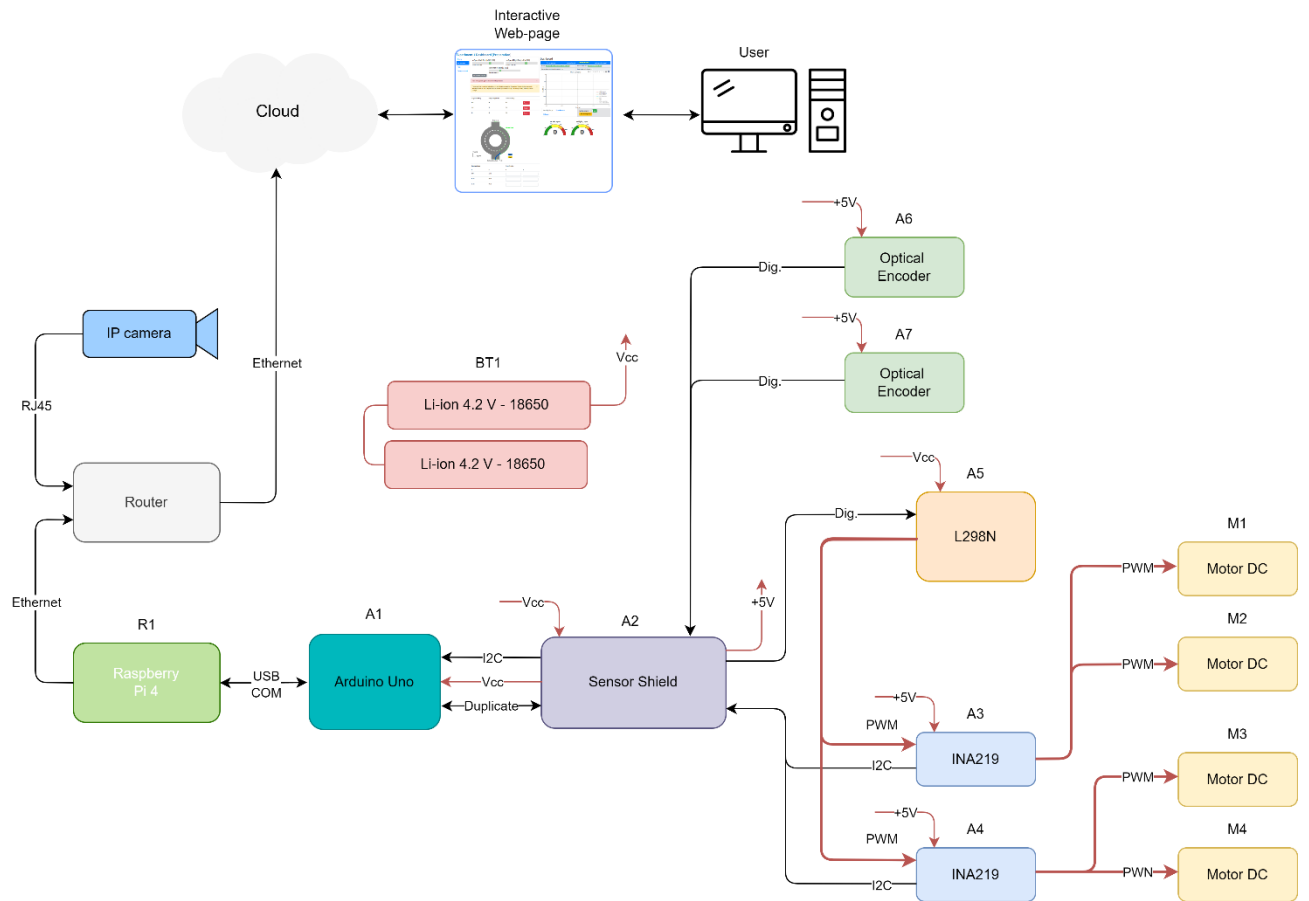


Рис. 5.30 Загальна структура стенду CVA

6. Розділ - Тестування на валідація

Тестування стенду «Car Vali» проводилось в рамках проведення циклу воркшопів у співпраці між «Reutlingen University», Germany та Dnipro University of Technology, Ukraine.

За результатами тестування була підтверджена ефективність обраного конструкційного рішення CVA. Відкрита рама забезпечила можливість легко вивчати будову, склад обладнання та спосіб його підключення, як безпосередньо біля стенду (offline) так і користуючись запропонованими засобами віддаленого керування за допомогою IP камери. Встановлені засоби підсвітки не створюють бліків на поверхні обладнання та дозволяють оцінити його склад, динаміку руху DCM та напрямок їх обертання.

Обране обладнання продемонструвало свою надійність та точність в рамках безперервного циклічного випробування впродовж воркшопів. Давачі струму INA219 показали себе як надійний інструмент для отримання даних про струм та напругу в режимі реального часу. Драйвер двигунів L298N за рахунок наявності надійного охолодження, у вигляді радіатора, здатен ефективно працювати тривалий час відпрацьовуючи заданий алгоритм керування DCM. Оптичні давачі швидкості з комплектним колесом показали себе в якості надійного та швидкодіючого рішення для вимірювання швидкості обертання двох коліс. Проте слід зауважити, що мала кількість отворів на комплектному колесі має обмеження щодо точності вимірювання швидкості через малу дискретизацію вихідного сигналу з давача. В майбутніх доопрацюваннях конструкції слід передбачити заміну колеса або встановлення більш точної системи вимірювання швидкості.

Обрана система керування на базі Arduino Uno дозволяє успішно передавати дані, що були отримані з вбудованих давачів, до Rpi та сигнали керування в зворотному. Але існує певна затримка отримання сигналу та відображення його засобами Web-сторінки, яка викликана великим об'ємом даних, що одночасно передається з Arduino через COM порт, а також обмеженнями обраного засобу побудови графіків.

Обрані DCM є універсальним рішенням з точки зору: простого кріплення до типових SCR з можливістю виконання гарячої заміни в разі необхідності; відносно не великої ціни; можливості легкого кріплення додаткового обладнання тощо. Недоліками обраних DCM є: відмінність у швидкості їх обертання, що обумовлена низькою якістю збірки та не достатньою кількістю змазки редуктора; малою площиною вивідних контактів, що потребує додаткової фіксації проводів живлення при монтажі. Під час реальних випробувань було визначено, що вказані фактори створюють значну похибку у вимірюванні швидкості їх обертання, що певною мірою впливає на результати виконання лабораторної роботи. В наступних модифікаціях слід передбачити можливість встановлення більш надійних DCM або запланувати виконання додаткового обслуговування даного вузла.

Обраний Arduino Sensor Shield V5.0 за рахунок відкритого розміщення виводів дозволяє легко відслідкувати спосіб підключення кожного з додаткових приладів. Наявність великої кількості додаткових комунікаційних виводів дозволяє за необхідності розширити функціонал стенду або замінити якийсь з встановлених модуль. З'єднання всіх компонентів за допомогою Arduino Jumper також сприяють легкому під'єднанню компонентів, та можливості відслідковування кожної силової або інформаційної лінії під'єднанні. Проте мають недолік у вигляді не надійного електричного контакту, що у випадку використання бракованого Jumper може суттєво вплинути на процес відлагодження обладнання та подальшого випробування.

Живлення від двох Li-ion акумуляторів 18650 є надійним рішенням, що дозволяє виконувати живлення силових та інформаційних ліній стенду. При умові своєчасної заміни здатні забезпечувати безперервну роботу стенду. Даний факт має як позитивні та і негативні наслідки. За результатами тестувань було виявлено, що необхідно постійно виконувати контроль напруги акумуляторів за допомогою зовнішніх приладів через відсутність вбудованого рішення. Не своєчасна заміна акумуляторів призводить до їх надмірного розряду, що може спричинити пошкодження електродів, втрату ємності та зниження їх загальної продуктивності. Крім того, довготривалий надмірний розряд може сприяти виникненню необоротних

хімічних змін у структурі акумулятора, що може призвести до втрати його функціональності та скорочення терміну служби. Позитивним моментом є можливість дослідження ступіню впливу розрядки акумуляторів на динаміку системи та вигляд перехідних процесів. Зважаючи на це в майбутньому доцільно передбачити можливість живлення системи від двох незалежних джерел енергії – акумуляторів та зовнішнього блоку живлення.

Встановлення пластикових опор з роликами на досліджуваних DCM в якості імітації динамометричного стенду, дозволили отримати перехідні процеси, які наближені до реальних за рахунок врахування коефіцієнту тертя.

Обрані технічні рішення при створенні CVA цілком відповідають всім зазначеним раніше вимогам та дозволяє швидко підлаштовуватись під вимоги навчального процесу за рахунок модульності системи та відкритої універсальної конструкції.

В рамках тестування системи віддаленого доступу було виявлено, що web інтерфейс керування лабораторною роботою успішно відображається засобами найпопулярніших браузерів Chrome, Edge, Safari та Mozilla firefox. Сторінка керування запускається та функціонує, як з ПК так і зі смартфонів та планшетів без додаткового програмного заперечення з території України та Німеччини. Масштабування інтерфейсу не призводить до збоїв у його роботі.

Контроль доступу до керування стендом виконувався за допомогою декількох користувачів, що одночасно викликають web-додаток. Навіть за наявності декількох запитів на управління стендом, лише один користувач («майстер») може здійснювати його керування в рамках відведеного йому часу. Всі інші користувачі, які ввели код доступу, встають у віртуальну чергу. Дані про кількість зареєстрованих користувачів коректно відображається засобами web-додатку. Після закінчення часу роботи права «майтра» користувача на керування експериментом успішно відкликаються, і передаються наступному користувачу у черзі, який стає «майстром» користувачем. Якщо відпрацювання експерименту було розпочато в момент зміни «майтра» користувача – стенд відпрацює попереднє завдання і після чого буде готовий для продовження роботи з новим користувачем. Тест з кількома користувачами показує,

що кожен користувач може записатися в чергу лише один раз. Проведення експерименту не може бути заблоковане користувачем.

Дані експерименту коректно відображаються засобами Web-додатку. Графіки, що будуються в реальному часі, доступні до перегляду всім користувачам, а перегляд особистих даних, завдання на роботу та відповіді контрольні питання доступні лише «майтру» користувачу, та не зберігаються на сервері. Дане рішення дозволяє розширити можливості до демонстрування процесу виконання лабораторної роботи в рамках навчального процесу або воркшопів. Керування проведенням експерименту відбувається з дуже низькою затримкою. Клієнт може з високою точністю формувати завдання на траєкторію руху CVA користуючись відповідними повзунками. Діапазон підібрано таким чином, щоб уникнути завдання критичних граничних значень мінімальної та максимальної швидкості обертання DCM з метою уникнення аварійної ситуації. Використання повзунків замість полів вводу дозволив спростити процес відлагодження та забезпечити більшу наочність до процесу керування моделлю електромобіля.

Аналіз форми отриманого сигналу показав, що форма сигналу з давача швидкості володіє меншою наочністю ніж дані з давача INA219 через велику ступінь дискретизації сигналу та його кратність 30 – яка обумовлена кількості отворів в пластиковому кільці. Запізнення побудови графіків, які закінчують свою побудову після відпрацювання завдання CVA (після зупинки), обумовлена необхідністю наявності повної історією перехідного процесу одного циклу та можливостями засобами відображення графіків.

В ході проведення воркшопів також було виявлено дефект, який пов'язаний з не стабільністю під'єднання давачів швидкості, які викликали нескінченне завдання на роботу, і як наслідок безперервний рух вперед з фіксованою швидкістю. В результаті чого було розроблено програмне рішення для захисту від подібних режимів роботи.

Тестування процесу формування звіту показало свою ефективність в задачах збереження персональних даних клієнта, відповідей на контрольні питання, та таблиць заданих точок без помилок. Для успішного генерування звіту необхідно

вимкнути всі засоби блокування реклами, на кшталт AddBlock, а також уникати перезавантаження сторінки. Оскільки дані користувачів не зберігаються на сервері – перезавантаження сторінки викличе скидання всіх введених даних, оскільки вони не зберігаються на сервері. Це гарантує збереження конфіденційних даних, які використовуються лише для генерування звіту. В разі виникнення помилки під'єднання до стенду існує механізм захисту від втрати даних. Окрім можливості збереження звіту у форматі PDF (з можливістю корегування полів) існує можливість зберегти введені дані у форматі TXT, для ручного введення їх у PDF або повторного проходження лабораторної роботи.

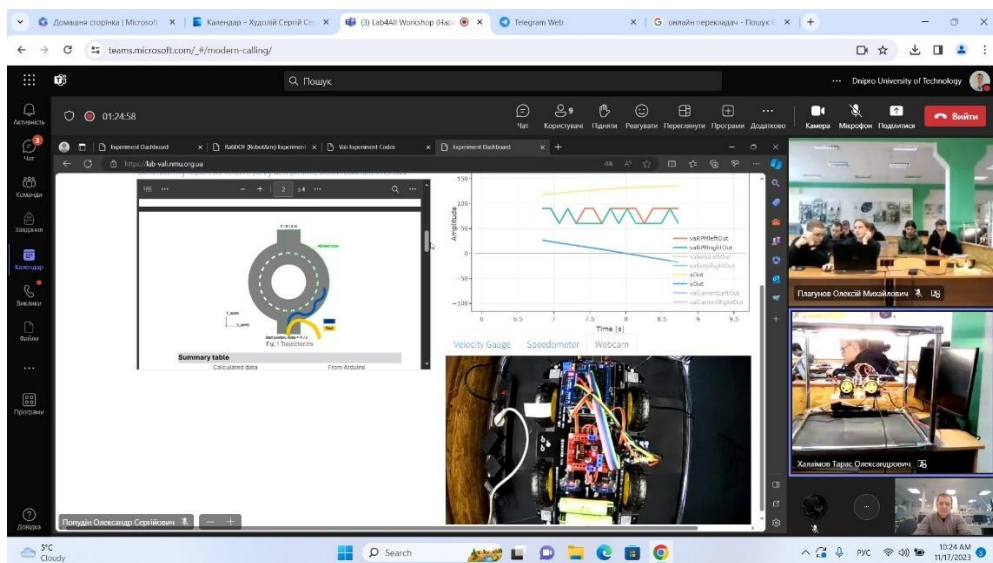
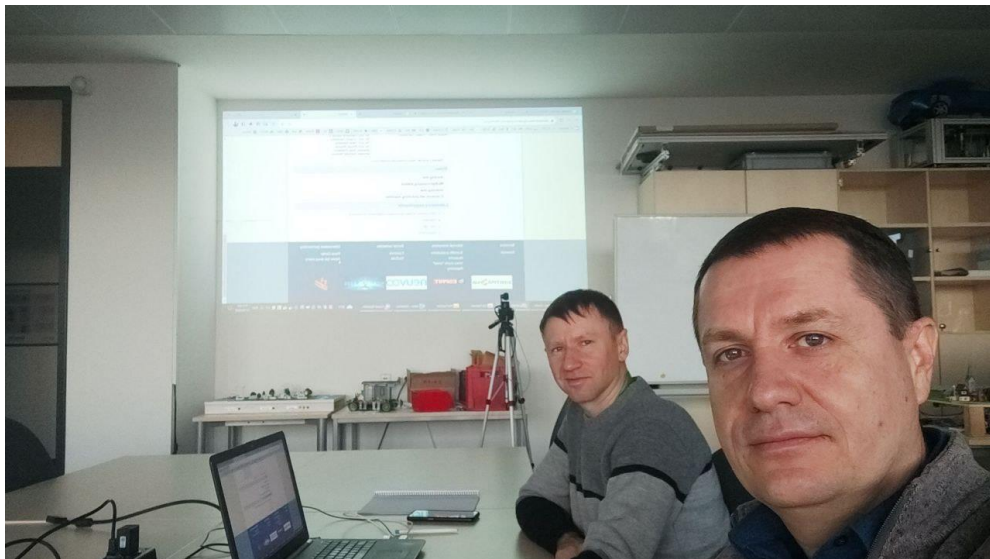
У випадку зникнення напруги всього стенду, сервер припинить свою роботу, а доступ до керування стенду буде не можливий. Повернення живлення призведе до перезавантаження серверу та системи керування CVA. Після відновлення живлення стенд буде готовий до продовження роботи без додаткових налаштувань. У випадку знеструмлення машинки шляхом від'єднання акумулятора та його подальшого відновлення – система керування перезавантажиться та буде готова до роботи. Якщо живлення було поновлене до завершення циклу відпрацювання завдання, то воно буде виконане до кінця.

Вимоги щодо необслугованої або малообслуговуваної експлуатації стенда виконуються за рахунок відсутності вузлів та агрегатів, що потребують втручання людини для поновлення експерименту. Однак слід зауважити, що акумулятори, які слугують в якості основного джерела живлення, потребують у контролі розрядки ззовні оскільки в системі не передбачені апаратні або програмні засоби контролю напруги. В результаті проведення воркшопів було виявлено, що заміна акумуляторних батарей потрібно здійснювати раз на дві доби. В майбутніх покращеннях стенду слід врахувати необхідність інтеграції зовнішнього джерела живлення в якості альтернативи. Живлення від акумуляторів слід використовувати в задачах дослідження впливу ступеню розрядки акумулятора на динаміку роботи DCM.

Візуальний зворотній зв'язок, щодо проведення експерименту виконується засобами трансляції відео з IP камери, що інтегрована у web-сторінку. При наявності

Розділ 6. Тестування та валідація

декількох клієнтів (в режимі керування або в черзі) web-трансляція залишається доступною для всіх клієнтів. Доступ до відео потоку з IP камери відбувається цілодобово, що було доведено в рамках проведення воркшопів.



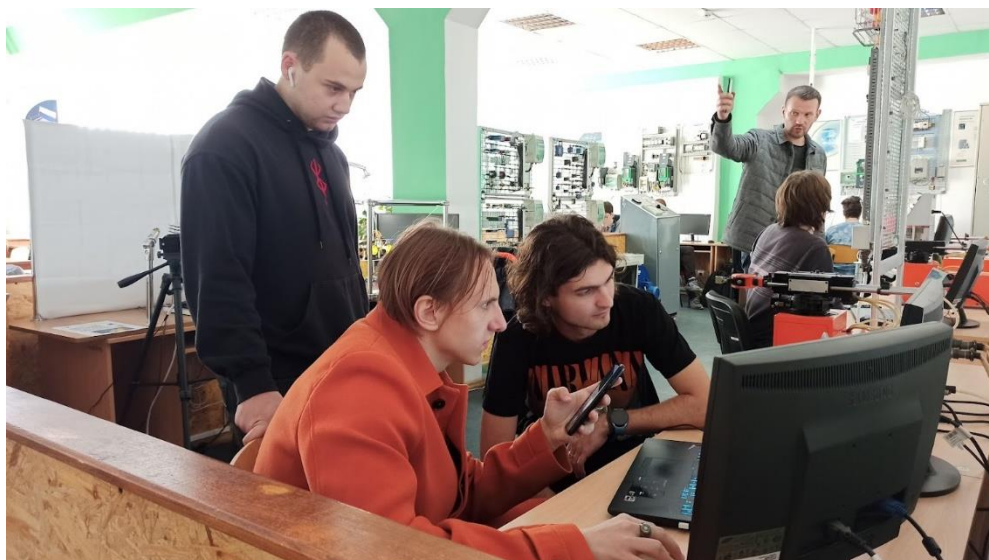


Рис. 6.1 Воркшоп Lab4All між «Reutlingen University», Germany та Dnipro University of Technology, Ukraine.

7. Порядок створення стенду з віддаленим керуванням

Створення стенду з віддаленим керуванням повинно починатись з: вибору експерименту, формування мети експерименту, формування вимог до проекту та постановки задачі.

7.1. Рекомендації по створенню стенду з віддаленим керуванням

Питання безпеки є одним з ключових при побудові наукового стенду. Він повинен бути автономним та безпечно здійснювати роботу без нагляду та зовнішнього втручання. Розроблений відповідно до чинних норм, правил та вимогам використання та експлуатації енергоустановок, пожежної безпеки та охорони праці. Приміщення, де розташована установка, повинно мати системи пожежного захисту та необхідне обладнання для пожежогасіння. Температурні умови в приміщенні повинні бути очікувані та стабільними. Слід уникати різких перепадів температури та вологості впродовж року. При проведенні віддалених експериментів слід переконатись, що робочі органи стенду не зможуть самотійно нашкодити студентам та персоналу, що знаходяться в лабораторії та не володіють інформацією про режим його роботи. Для уникнення не штатних ситуацій слід обов'язково проводити інструктажі персоналу з питань безпеки. Контроль доступу до налаштувань стенду повинен здійснюватися тільки визначним колом співробітників. Доступ до комунікаційних портів стенду повинен бути прихованим з метою уникнення не санкціонованого доступу. Бажано захистити комунікаційну систему паролем. Аварійне відновлення роботи стенду після зникнення живлення повинно бути чітко визначеним, не повинно викликати небезпечних ситуацій та потребувати у зовнішньому втручанні.

7.2. Вибір експерименту

При виборі експерименту слід звертати особливу увагу на те, що він повинен мати можливість самотійного відтворення та повернення у одне і теж вихідне

Розділ 7. Порядок створення стенду з віддаленим керуванням

положення. Доцільно допускати тільки не значну ступінь обслуговування, яке не містить щоденний характер. Стенд «Car Vali», наразі, потребує заміни акумуляторів раз в 2-3 доби за умови постійної роботи за стендом. Варто уникати подібних ситуацій та забезпечувати надійне живлення обладнання стенду за рахунок виділення окремої лінії живлення.

Експеримент повинен мати наочний характер з можливістю відслідковування ходу його виконання. З метою забезпечення нормального протікання навчального процесу, та задіяння всіх студентів типової академічної групи на заняттях, слід обирати експеримент з вузькими часовими рамками. З практики проведення воркшопів та виконання віддалених лабораторних робіт, що вже були реалізовані в рамках проекту «Lab4All» стало відомо, що оптимальний час на виконання експерименту однією особою повинен знаходитись в діапазоні 5-15 хвилин.

З метою забезпечення виконання експерименту в режимі реального часу слід уникати великої кількості обчислень за одиницю часу з боку обладнання.

Експеримент повинен мати можливість легкої інтеграції у існуючу навчальну програму університету та мати прикладний, а не суто демонстраційний характер.

Розроблена система повинна бути гнучкої як зі сторони обладнання (hardware) так і програмної (software). В умовах постійного розвитку промисловості на стадії проектування стенду важливо закласти додатковий функціонал з метою подальшої можливості вдосконалення лабораторної та методичної бази.

7.3. Формування мети експерименту

При розробці наукового стенду важливо приділяти особливу увагу питанню формування мети експерименту. Важливо заздалегідь чітко сформулювати ціль його проведення та область застосування. Метою побудови стенду CVA є реалізація можливості дослідження динаміки руху спрощеної моделі легкового автомобільного транспорту (робота-електромобіля), в задачах мехатроніки, з можливістю оцінки перехідних процесів у DCM. Дані стенди будуть активно задіяні у навчальному процесі у таких дисциплінах як «Мехатронні комплекси та системи» та «Системи

автоматичного керування». Розроблений експеримент присвячений питанням формування траєкторії руху робота-електромобіля CVA, який має проїхати по ротонді, вписуючись у ширину допустимої зони дороги користуючись органами керування, які реалізовані у web-інтерфейсі віддаленого керування.

7.4. Постановка задачі

Постановка задачі на розробку та виконання стенду з віддаленим керуванням є ключовим етапом у плануванні та реалізації проекту.

Основні етапи постановки задачі:

Формування вимог. Необхідно чітко визначити бажані параметри та функції, якими повинно володіти обладнання стенду. Це включає характеристики вхідних/вихідних сигналів, можливості керування, інтеграцію з іншими системами тощо. Також слід визначити технічні характеристики, такі як: напруга, потужність, струм, частота та інші параметри, які характеризують роботу обладнання. При виборі обладнання слід приділяти увагу дотриманням норм безпеки та стандартам виробництва (електричні стандарти, екологічні стандарти тощо). Обладнання повинно володіти високими критеріями надійності та тривалості експлуатації. Оскільки подібні стенди частіше за все експлуатуються в режимі 24/7 слід дбати про високу енергоефективність обраних рішень. Обране обладнання повинно мати змістовну документацію, яка вміщує в себе: технічні характеристики, інструкцію по наладці, схеми підключення тощо.

Аналіз вимог та формування специфікації. Після формування вимог до обладнання слід обрати доступні на ринку варіанти обладнання та скласти специфікацію. Для здійснення закупки краще обирати місцевих постачальників з метою легкої дозакупки або заміни компонентів на стадії проектування.

Визначення функціональності та складання схеми. Після формування специфікації слід сформувати структурну та функціональну схему майбутнього стенду для формування чуткого уявлення взаємодії між її ключовими елементами.

Розділ 7. Порядок створення стенду з віддаленим керуванням

Після цього слід скласти схему електричну принципіальну та переконатись у можливості взаємодії обладнання один з одним.

Оцінка ризиків. Бажано здійснити комплексну оцінку ризиків, які можуть виникнути на стадії проектування. Це стосується hardware та software складових стенду.

Бюджет та терміни виконання. Формування специфікації та схем дозволить комплексно оцінити необхідний бюджет враховуючи супутні ризики, що пов'язані з розробкою. Термін виконання буде залежати від кількості обладнання, будови та конструкції стенду.

Документація. Слід ретельно документувати всі етапи створення стенду та технічні характеристики обладнання для її подальшого вдосконалення.

7.5. Реалізація проекту

Після закінчення підготовчого етапу та здійснення закупки необхідного обладнання починається реалізація проекту, яка складається з етапів:

- Виконання монтажних та налагоджувальних робіт;
- Написання програмного коду та налагодження комунікації між обраним обладнанням;
- Налаштування зв'язку системи з «зовнішнім світом». Віддаленої мережевої комунікації.
- Створення інтерфейсу віддаленого керування для обраного експерименту;

Підтвердженням успішності створеного рішення – є тестування та валідація в умовах реального навчального процесу з задіянням студентів та викладачів. Основним завданням тестування – є пошук помилок з hardware та software частин стенду та вразливостей системи.

Одним з найголовніших етапів створення подібних наукових стендів – є їх впровадження в реальний навчальний процес та супроводження їх методичними вказівками.

8. Розділ - Висновки та перспективи

В даному розділі представлені важливі моменти обраного рішення, а також досягнуті результати під час побудови стенду «Car Vali». Також вказані основні напрямки щодо вдосконалення стенду.

8.1. Підсумок

В рамках проекту "(LAB4All – Open Access Cyber-Physical Laboratories for Ukrainian Universities)", який виконується у співпраці між університетом «Reutlingen University», Germany та Dnipro University of Technology, Ukraine було розроблено навчальний стенд з віддаленим керуванням «Car Vali». Даний стенд призначений для дослідження динаміки руху спрощеної моделі легкового автомобільного транспорту, в задачах мехатроніки, з можливістю оцінки перехідних процесів у двигунах постійного струму (DC).

Стенд «Car Vali» було побудовано на основі існуючих SCR, які функціонують на базі платформи Arduino. Для отримання даних в режимі реального часу існуючу SCR було модифіковано за рахунок додавання відповідних датчиків: струму/напруги, швидкості. Систему віддаленого доступу було реалізовано за допомогою Raspberry Pi 4. Створене рішення дозволяє легко отримати доступ до стенду з будь яких куточків світу та мати доступ до виконання експерименту цілодобово. Ефективність роботи системи було підтверджено в рамках воркшопів, що проводились між «Reutlingen University», Germany та Dnipro University of Technology, Ukraine, а також рядом Українських вишів.

Для керування експериментом було розроблено web-додаток, який служить інтерфейсом користувача та дозволяє керувати експериментом в режимі реального часу та отримувати зворотній зв'язок. Контроль за ходом виконання експериментом здійснюється за допомогою трансляції з IP камери, яка виконується засобами Raspberry Pi 4.

8.2. Перспективи

При побудові стенду «Car Vali» в нього закладалась розширена функціональність, яка дозволить створювати ряд нових різноманітних лабораторних робіт. Зважаючи на це, слід відзначити, що одним з пріоритетних напрямків покращення даного стенду є створення нових інтерфейсів керування, в рамках створеного web-додатку, та розширення методичної бази за рахунок створення нових лабораторних робіт. Крім того важливо покращити наповнення сторінки віддаленого керування експериментом за рахунок додавання теоретичних відомостей та підказок до ходу виконання лабораторних робіт.

Для забезпечення безперервної роботи експерименту слід додати зовнішній блок живлення, як альтернативне живлення до існуючого від акумуляторів.

Також слід вдосконалити систему передачі даних між Arduino та Raspberry Pi з метою уникнення можливої втрати даних під час виконання експерименту, а також підвищення загальної швидкодії системи.

З метою покращення умов освітлення, а також обмеження поля відображення IP камери, слід передбачити захисні екрани по краях «Car Vali».

Список використаних джерел

1. IEEE Standard for Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories. IEEE Std 1876-2019, pp. 1-67, Jan. 2019. [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/ieee/1876/5482/>
2. Lilliput Direct, "Arduino Robot Car Kit." [Online]. Available: <https://lilliputdirect.com/arduino-robot-car-kit> . [Accessed: Jul. 4, 2024]
3. Kuongshun, "WiFi Smart Car Robot Kit with Video Monitoring." [Online]. Available: <https://www.kuongshun-ks.com/uno/robot-smart-car/wifi-smart-car-robot-kit-with-video-monitoring.html>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
4. Amazon, "Smart Robot Car Kit for Arduino, Line Following, Obstacle Avoidance, Ultrasonic, etc. Intelligent and Educational," [Online]. Available: <https://www.amazon.com/Following-Obstacle-Ultrasonic-etc-Intelligent-Educational/dp/B078KX3ZL9>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
5. Department of Electric drive, "Remote Laboratory Experiment PID-control of the membrane compressor's pressure", [Online] <https://elprivod.nmu.org.ua/en/index.php> . [Accessed: Jul. 4, 2024].
6. WebHMI, "WebHMI." [Online]. Available: <https://webhmi.com.ua/en/>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
7. Reutlingen University, "Flying Ball Experiment", [Online] <https://tec-control.reutlingen-university.de/remote-experiments/flyball/#tab-8591> [Accessed: Jul. 4, 2024]
8. Settorezero (cyb3rn0id), Robot Car project, [Online] <https://www.settorezero.com/wordpress/> [Accessed: Jul. 4, 2024].
9. cyb3rn0id & sundayrobotics, "ProBuddy", [Online] https://www.instagram.com/p/CwAZLBatZ9k/?img_index=1 [Accessed: Jul. 4, 2024].
10. Solidworks, "10072-moteur200", [Online] <https://blogs.solidworks.com/enseignant/2019/11/robot-elegoo-smart-robot-car.html/10072-moteur200> [Accessed: Jul. 4, 2024].

11. Arduino.ua, "Wheel for Models and Robot Platforms, Yellow." [Online]. Available: <https://arduino.ua/prod1642-koleso-dlya-modelei-i-robotplatform-jeltoe>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
12. How2Electronics, "How to Use INA219 DC Current Sensor Module with Arduino." [Online]. Available: <https://how2electronics.com/how-to-use-ina219-dc-current-sensor-module-with-arduino/>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
13. Arduino.ua, "Digital Current and Voltage Sensor INA219 with I2C Bus." [Online]. Available: <https://arduino.ua/prod1661-cifrovoy-datchik-toka-i-napryazheniya-na-ina219-s-shinoy-i2c>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
14. Deep Blu Embedded, "Arduino Motor Encoder: Optical Encoder Interfacing." [Online]. Available: <https://deepbluembedded.com/arduino-motor-encoder-optical-encoder-interfacing/>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
15. Arduino.ua, "Compact Optical Obstacle Sensor." [Online]. Available: <https://arduino.ua/prod2290-opticheskii-datchik-prepyatstviya-kompaktnii>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
16. Arduino.ua, "Disk with Slots for Optical Encoder." [Online]. Available: <https://arduino.ua/prod4271-disk-s-prorezyami-dlya-opticheskogo-enskodera>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
17. Arduino.ua, "Motor Driver for Two Motors with L298N." [Online]. Available: <https://arduino.ua/prod406-draiver-dvyh-dvigateli-na-l298n>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
18. Last Minute Engineers, "L298N Motor Driver Module - Arduino Tutorial." [Online]. Available: <https://lastminuteengineers.com/l298n-dc-stepper-driver-arduino-tutorial/>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
19. Arduino.ua, "Sensor Shield for Connecting Sensors to Arduino V5." [Online]. Available: <https://arduino.ua/ru/prod1901-sensor-shild-dlya-podklucheniya-datchikov-k-arduino-v5>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
20. H. Cheng, M.-C. Chiu, K.-F. Zeng, and C.-M. Chiu, "A design of toxic gas detecting security robot car based on wireless path-patrol," MATEC Web of Conferences, vol. 123, p. 00035, Jan. 2017. doi: 10.1051/mateconf/201712300035.

Список використаних джерел

21. Hikvision, "Hikvision DS-2CD1021-I(F) 2.8 mm." [Online]. Available: <https://hikvision.co.ua/ua/hikvision-ds-2cd1021-if-28-mm>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
22. PrintMarket, "Press Wall 2x2 m." [Online]. Available: <https://www.printmarket.ua/ua/press-voll-press-wall-2x2-m.htm>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
23. EpicentrK, "Banner Stand Press Voll 2x3 m." [Online]. Available: <https://epicentrk.ua/ua/shop/mplc-stiika-dlya-banera-press-voll-2kh3-m-1ec900a4-aa98-6972-aec4-db6687218b4f.html>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
24. Fritzing, "Fritzing." [Online]. Available: <https://fritzing.org>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
25. A. Piltch, "How to Set Up a Raspberry Pi for the First Time," Tom's Hardware, 2022. [Online]. Available: <https://www.tomshardware.com/how-to/set-up-raspberry-pi>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
26. "PM2 Process Management Quick Start," [Online]. Available: <https://pm2.keymetrics.io/docs/usage/quick-start/>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
27. Department of Electric drive, "Car Vali". [Online]. Available: <https://elprivod.nmu.org.ua/ua/CV/index.php>. [Accessed: Jul. 4, 2024].