



Hochschule Reutlingen
Reutlingen University



Lab4All:

Open Access
Cyber-Physical Laboratories for
Ukrainian Universities

Project: “Robot Arm”

Project Manager: Serhii Khudolii
By Taras Khalaimov
December, 2023



Deutscher Akademischer Austauschdienst
German Academic Exchange Service



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Зміст

1. РОЗДІЛ	8
1.1. АНОТАЦІЯ	8
2. РОЗДІЛ	11
2.1. ВСТУП	11
2.2. ЦІЛІ ПРОЕКТУ	11
2.3. ВИМОГИ ДО ПРОЕКТУ	12
3. РОЗДІЛ	16
3.1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	16
3.2. АНАЛІЗ ПОТОЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ	19
3.3. ПОТОЧНИЙ СТАН ВІДДАЛЕНОГО ДОСТУПУ	20
3.4. ВИМОГИ ДО ОБЛАДНАННЯ	21
3.5. ВИМОГИ ДО КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДУ.....	22
3.6. ВИСНОВКИ ДО ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ	23
4. РОЗДІЛ – ВИБІР ОБЛАДНАННЯ.....	24
4.1. ВИБІР СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ІНТЕРФЕЙСУ ПІДКЛЮЧЕННЯ	24
4.2. ВИБІР КОМУНІКАЦІЙНОЇ ПЛАТФОРМИ.....	26
4.3. ВИБІР СЕРВОПРИВОДІВ.....	28
4.4. ВИБІР ДАВАЧА СТРУМУ ТА НАПРУГИ	29
4.5. ВИБІР ДАВАЧА ПОЛОЖЕННЯ.....	34
4.6. ВИБІР ДОДАТКОВОГО ОБЛАДНАННЯ.....	36
4.7. ВИБІР ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ	37
4.8. ВИБІР КОРПУСУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОНІКИ	38
4.9. ВИБІР КАМЕРИ.....	38
4.10. ВИБІР КОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	41
4.11. ВИБІР МАТЕРІАЛІВ КОРПУСУ СТЕНДУ	43
4.12. ВИБІР СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ	45
4.13. ВИСНОВКИ ДО ЧЕТВЕРТОГО РОЗДІЛУ	48

5. РОЗДІЛ – РЕАЛІЗАЦІЯ.....	49
5.1. АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ «ROBOT ARM»;	49
5.1.1. Крок 1: Встановлення додаткового обладнання.....	49
5.1.2. Крок 2: Налаштування обладнання стенду;	54
5.1.3. Крок 3: Розробка корпусу стенду.....	57
5.1.4. Структурна схема та зовнішній вигляд «Car Vali».....	59
5.2. РЕАЛІЗАЦІЯ ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ	64
5.2.1. Сценарії взаємодії з віддаленим лабораторним стендом	64
5.2.2. Узагальнена структурно-алгоритмічна організація досліджуваної системи	65
5.2.4. Реалізація концепції віддаленого керування	69
5.3. СТВОРЕННЯ WEB-СТОРІНКИ	72
5.3.1. Загальний підхід до створення веб сторінки на Raspberry Pi.	72
5.3.2. Налаштування відеопотоку з IP камери	73
5.4. ОПИС РЕАЛІЗОВАНОГО ІНТЕРФЕЙСУ	76
5.4.1. Доступ до експерименту.....	76
5.4.2. Інтерфейс лабораторної роботи.....	83
6. ТЕСТУВАННЯ НА ВАЛІДАЦІЯ	94
7. ПОРЯДОК СТВОРЕННЯ СТЕНДУ З ВІДДАЛЕНИМ КЕРУВАННЯМ.....	100
7.1. РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО СТВОРЕННЮ СТЕНДУ З ВІДДАЛЕНИМ КЕРУВАННЯМ	100
7.2. ВИБІР ЕКСПЕРИМЕНТУ	100
7.3. ФОРМУВАННЯ МЕТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ	101
7.4. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	102
7.5. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ	103
8. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ	104
8.1. Підсумок.....	104
8.2. ПЕРСПЕКТИВИ.....	105
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	106

Список ілюстрацій:

Рис. 2.1 Діаграма використання RA	15
Рис. 3.1 «6DOF DoIt Mobile Robot Arm» [2][3][4].....	16
Рис. 3.2 Зовнішній вигляд існуючого DMRA.....	17
Рис. 3.3 Зовнішній вигляд DMRA в одній з комплектацій	19
Рис. 3.4 Функціональна схема роботи стенду «PID-control of the membrane compressor's pressure»	20
Рис. 4.1 Зовнішній вигляд Arduino Uno	24
Рис. 4.2 Зовнішній вигляд та призначення виходів Raspberry Pi 4 Model B 8GB	27
Рис. 4.3 Корпус для Raspberry Pi 4 Model B з активним охолодженням	27
Рис. 4.4 Зовнішній вигляд сервоприводу DS3218MG-180 [8]	28
Рис. 4.5 Зовнішній вигляд алюмінієвої монтажної втулки [9]	29
Рис. 4.6 Зовнішній вигляд та розпіновка давача струму та напруги INA219	31
Рис. 4.7 Зовнішній вигляд давача струму та напруги INA3221 [11].....	33
Рис. 4.8 Зовнішній вигляд модуля акселерометра та гіроскопа MPU-6050 GY-521, 6DOF [13]	35
Рис. 4.9 Зовнішній вигляд 8-канального I2C комутатора на TCA954 [14].....	36
Рис. 4.10 Зовнішній вигляд вбудованого блоку живлення 150W 5V OV-R5-30A [15]	37
Рис. 4.11 Зовнішній вигляд обраного корпусу для електроніки 200x150x80 мм, IP65	38
Рис. 4.12 IP-відеокамера Hikvision DS-2CD1021-I(F) (2.8 мм) [16]	39
Рис. 4.13 MikroTik hAP ac2 (RBD52G-5HACD2HND-TC) – 1 Гбіт/с)	42
Рис. 4.14 Зовнішній вигляд банерів Press Wall [17][18]	45
Рис. 5.1 Зовнішній вигляд DMRA де 1 – рама з нержавіючої сталі, 2 – сервоприводи, 3 – блок живлення від PC, 4 – блок електроніки.....	49
Рис. 5.2 Визначення граничних положень ланок робота маніпулятора де 2 – блок керування, 1,3,4 – напрямки зміни положення робота в просторі	50

Рис. 5.3 Заміна пластикових фланців на алюмінієві де 1- пластиковий фланець, 2 – алюмінієвий фланець	51
Рис. 5.4 Друк губок схвату RA.....	52
Рис. 5.5 Зовнішній вигляд під'єданого обладнання змонтованого на стенд RA де 1 – пластикові губки схвату, 2 - давачі положення MPU-6050, 3 – комунікаційний COM порт, 4 - Raspberry Pi 4, 5 – монтажна коробка зі встановленим обладнанням, 6 – блок живлення, 7 – головний вимикач, 8 – хаб живлення, 9 – система керування Arduino, 10 – давачі INA3221	52
Рис. 5.6 Фінальна конструкція стенду RA де 1 – тримач для об'єкта, 2 – блок живлення, 3 - Raspberry Pi 4, 4 - монтажна коробка зі встановленим обладнанням, 5 - давачі положення MPU-6050, 6 - DS3218MG-180	53
Рис. 5.7 Давач положення MPU-6050 [?]	54
Рис. 5.8 Налаштування IP камери. Визначення дистанції та куту розміщення за допомогою штатива.....	57
Рис. 5.9 Корпус стенду RA	58
Рис. 5.10 Склад обладнання стенду Robot Arm.....	59
Рис. 5.11 Функціональна схема стенду Robot Arm.....	60
Рис. 5.12 Схема електрична принципова стенду RA	63
Рис. 5.13 Сценарії взаємодії	65
Рис. 5.14 Структурна організація досліджуваної системи.....	66
Рис. 5.15 Концепція віддаленого керування для RA experiment	70
Рис. 5.16 Реалізація codes.html в MOODLE, який показує поточний код доступу	71
Рис. 5.17 Базова схема комунікації на різних архітектурних рівнях розробленої системи віддаленого керування	72
Рис. 5.18 Сторінка «Car Vali» на сайті Dnipro University of Technology	77
Рис. 5.19 Процес отримання доступу до RA	79
Рис. 5.20 Черга на доступ RA.....	81
Рис. 5.21 Звіт лабораторної роботи RA.....	82
Рис. 5.22 Резервні вихідні дані виконання лабораторної роботи RA	83
Рис. 5.23 Вкладка «Home» web-інтерфейсу керування «Robot Arm».....	84

Рис. 5.24 Вкладка «Laboratory experiment #1» web-інтерфейсу керування «Robot Arm»	86
Рис. 5.25 Вкладка «Laboratory experiment #2» web-інтерфейсу керування «Robot Arm»	88
Рис. 5.26 Вкладка «Laboratory experiment #3» web-інтерфейсу керування «Robot Arm»	90
Рис. 5.27 Вкладка «Save your work» web-інтерфейсу керування «Robot Arm»	92
Рис. 5.28 Загальна структура стенду RA.....	93
Рис. 6.1	98
Рис. 6.2 Воркшоп Lab4All між «Reutlingen University», Germany та Dnipro University of Technology, Ukraine.....	99

Перелік умовних позначень

RA - Robot Arm

DMRA - 6DOF DoIt Mobile Robot Arm

IP - Internet protocol camera

DCM – DC motor

LAB - Laboratories Across Borders

FPS - Frames per second

Rpi - Single-board computer Raspberry Pi

I2C - Inter-Integrated Circuit

1. Розділ

1.1. Анотація

Створення лабораторного стенду з віддаленим керуванням "Robot Arm"(RA) 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.

Розділ 1. Анотація

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-

Розділ 1. Анотація

інтегрально-похідного регулятора (ПД-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

2.1. Вступ

Метою даного проекту є створення лабораторного стенду з віддаленим керуванням «Robot Arm» (RA), є реалізація можливості дослідження кінематики руху робота маніпулятора на прикладі зменшеної версії промислового роботу з 6 ступенями свободи - 6DOF DoIt Mobile Robot Arm (DMRA), в задачах мехатроніки. З можливістю оцінки перехідних процесів, що виникають у двигунах постійного струму (DCM) сервоприводів. Дана робота описує реалізацію проекту з вказанням основних засад та технологій створення власного стенду з віддаленим керуванням.

2.2. Цілі проекту

Головними задачами проекту RA є створення стенду з можливістю віддаленого керування, що дозволить досліджувати кінематику руху та перехідні процеси зменшеної версії промислового роботу маніпулятора. 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

Розділ 2. Вступ

доц. Олександр Бешта мол.

доц. Роман Боровик

доц. Дар'я Букреєва

асп. Тарас Халаїмов

асп. Станіслав Шихов

Сформована концепція лабораторного стенду RA 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.

2.3. 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 RA наступні:

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

Розділ 2. Вступ

- 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.

Розділ 2. Вступ

- 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.

Розділ 2. Вступ

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

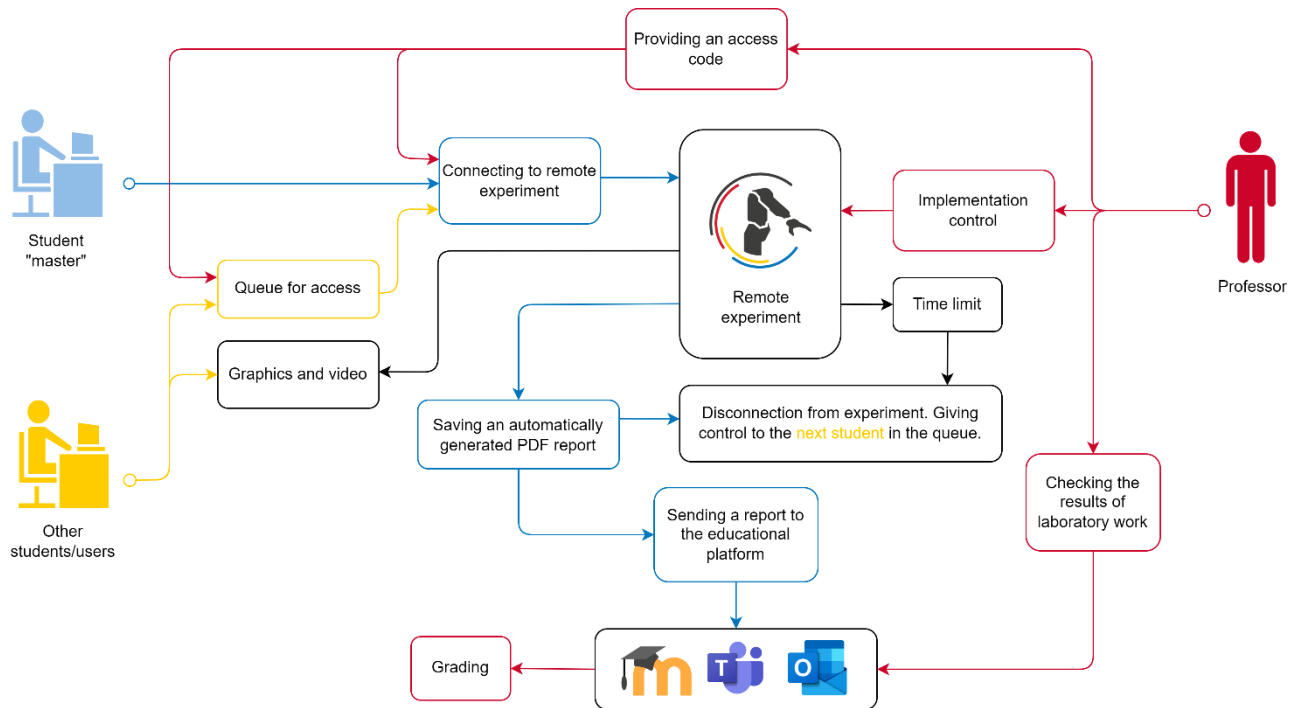


Рис. 2.1 Діаграма використання РА

3. Розділ

3.1. Постановка задачі

Створення стенду віддаленого керування RA надає можливість дослідження кінематики руху робота маніпулятора на прикладі зменшеної версії промислового робота з 6 ступенями свободи, яка працює на базі платформи Arduino, а саме «6DOF DoIt Mobile Robot Arm (DMRA)», типові представники яких зображені на Рис. 3.1.



Рис. 3.1 «6DOF DoIt Mobile Robot Arm» [2][3][4]

На базі DMRA у світі створюється велика кількість різноманітних проектів, які в основному відрізняються конструкцією руки маніпулятора та набором електронних комплектуючих, а саме: контролером, типом встановлених датчиків, драйверами двигунів, системою живлення, наявністю/відсутністю віддаленої системи керування тощо. Частіше за все подібні DMRA представляє з себе готовий конструктор, який складається з електричної та механічної частини. Користувачу надається інструкція по збірці руки маніпулятора, електрична принципова схема та готовий код для Arduino. На базі Dnipro University of Technology раніше вже було зібрано подібний DMRA та протестовано його роботу на практиці в рамках кваліфікаційних робіт студентів. На Рис. 3.2 Зовнішній вигляд існуючого DMRA Рис. 3.2 показано зовнішній вигляд існуючої моделі DMRA.

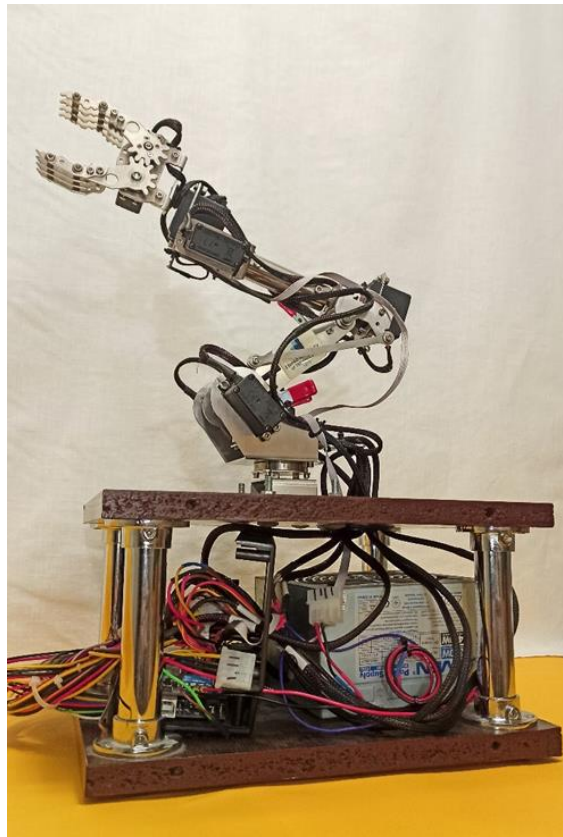


Рис. 3.2 Зовнішній вигляд існуючого DMRA

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

- Обрати систему керування DMRA, яка відрізняється простою комунікацією з його додатковим обладнанням, економічністю, модульністю, широкими можливостями для розширення та широким набором інтерфейсів передачі даних.
- Визначитись з доцільністю заміни існуючих сервоприводів, на базі двигунів постійного струму DCM, в разі не відповідності їх вимогам проекту.
- 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 датчики, які будуть здатні вимірювати струм та напругу DCM з достатньою точністю для адекватної оцінки перехідних процесів, що виникають в них.

Розділ 3. Постановка задачі

- Обрати давачі положення, що володіють достатньою точністю для визначення координат (x, y, z) DMRA у просторі, а також здатні вимірювати його прискорення та кутову швидкість.
- Замінити або модифікувати існуючий блок живлення DMRA.

Для здійснення віддаленого керування даним RA необхідно обрати пристрій, який буде слугувати в якості сервера для відображення веб-сторінки експерименту, та матиме легку та зручну комунікацію з обраною системою керування DMRA. 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 DMRA має відносно широкий діапазон руху – 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.

3.2. Аналіз поточного стану обладнання

Стенд RA буде побудовано на основі існуючого об'єкта DMRA (Рис. 3.3) що знаходиться в Dnipro University of Technology. Даний об'єкт в минулому активно використовувався студентами для виконання типових проектів, на які розрахований вказаний DMRA у стандартній комплектації, перелік якої наведено у Таблиця 3.1. Для побудови RA необхідно сформулювати вимоги до обладнання стенду беручи до уваги наявну комплектацію.

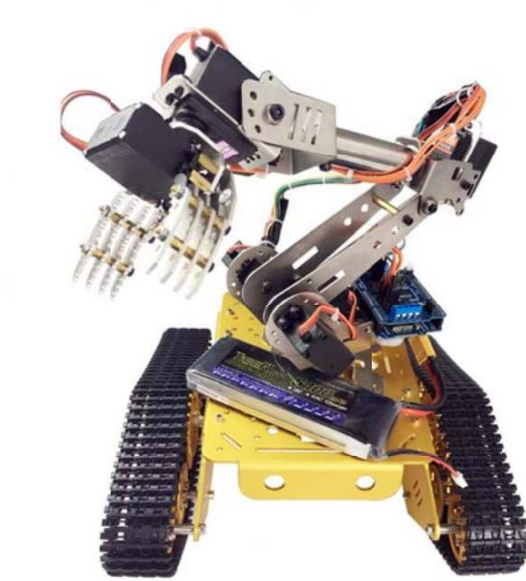


Рис. 3.3 Зовнішній вигляд DMRA в одній з комплектацій

Таблиця 3.1

Комплектація існуючого SCR

Name	Unit	Q-ty
Arduino Nano Rev. 3 driving board	pcs	1
2-way Motor & 16-way Servos Shield	pcs	1
DS3218 High Torque Metal Gear Digital Servo	pcs	7

Computer power supply unit with a capacity of 300 W	pcs	1
---	-----	---

3.3. Поточний стан віддаленого доступу

Для існуючої RA 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. 3.4.

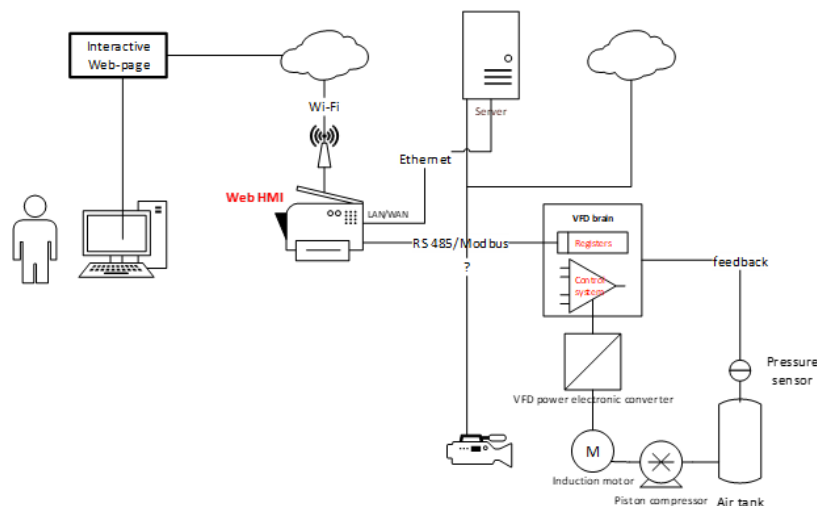


Рис. 3.4 Функціональна схема роботи стенду «PID-control of the membrane compressor's pressure»

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

Розділ 3. Постановка задачі

інтерфейс віддаленого керування з можливістю автоматичної генерації звіту по закінченню виконання лабораторної роботи.

3.4. Вимоги до обладнання

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

1. Існуюча система керування DMRA, на базі Arduino Uno Rev. 3, задовольняє вимогам, що були описані в 2.2. Тож може бути застосована для реалізації стенду RA.
2. Шилд «Servo Shield Board» цілком задовольняє вимогам проекту та дозволяє ефективно керувати одразу сімома серводвигунами.
3. Комплектні сервоприводи DMRA - DS3218 (старої ревізії) мають ряд суттєвих недоліків по механічній та електричній частині. Редуктори мають пошкодження через знос, що обумовлений активною експлуатацією та роботою за межами робочих кутів ланок робота маніпулятора. Комплектні фланці виконані з пластику, через що виникає їх швидкий повторний знос в процесі експлуатації. Це призводить до зменшення робочої ваги, що здатен ефективно переміщувати робот, та частих поломок. Місця під пайку дротів на платі сервопривода не дозволяють надійно припаяти силові та сигнальні дроти, через що виникає їх обрив при значній динаміці переміщень робота. Отже комплектні серводвигуни потребують заміни на нові.
4. Рама робота маніпулятора виконана з нержавіючої сталі та має всі необхідні технологічні отвори для розміщення комплектного та додаткового обладнання, а отже задовольняє вимоги проекту.
5. Існуюча система фіксації робота маніпулятора виконана з труб press wall та ламінованого ДСП (Particle board). Дане рішення продемонструвало свою надійність під час реалізації минулих проектів, що були пов'язані з цим роботом, тому потребує лише не значних доробок. Для розміщення додаткового обладнання слід передбачити розширену платформу, яка замінить існуючу.

Розділ 3. Постановка задачі

6. Блок живлення від персонального комп'ютера, що використовувався до цього в DMRA, показав свою ефективність у простих задачах керування роботом, але для забезпечення стійкої та безперервної роботи стенду RA слід виконати заміну блоку живлення на більш потужний та надійний.
7. Бокс для електроніки. Оскільки для реалізації цілей проекту необхідно додати значну кількість обладнання то варто передбачити новий електричний бокс, який буде забезпечувати рівень захисту не нижче ніж IP20.

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

3.5. Вимоги до конструкції стенду

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

1. Платформа для розміщення «RA» 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.

Розділ 3. Постановка задачі

4. Необхідно передбачити зовнішні захисні елементи на корпусі, які б дозволили уникнути випадкового пошкодження RA або переривання ходу дослідження.
5. Доступ до джерела живлення та комунікаційних мереж повинен 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.

3.6. 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 «RA»;
2. Для повної відповідності вимогам проекту необхідно обрати ряд додаткового обладнання: систему керування, комунікаційну платформу, сервоприводи, давачі струму та напруги, давачі положення, допоміжні прилади та модулі, камеру, прилади освітлення, матеріали корпусу.

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 RA 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

Для забезпечення більш стабільної роботи системи керування в умовах великого обсягу передачі даних в режимі реально часу, було прийнято рішення використовувати 2 x Arduino Uno. Дане рішення дозволить розділити систему на канал збору даних та канал керування серводвигунами. Дане рішення накладає обмеження на вибір комунікаційної платформи, оскільки вона повинна підтримувати передачу даних декількома каналами COM одночасно.

4.2. Вибір комунікаційної платформи

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

Розглядаючи Rpi 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 та можливість паралельної роботи одночасно декількох каналів. 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).

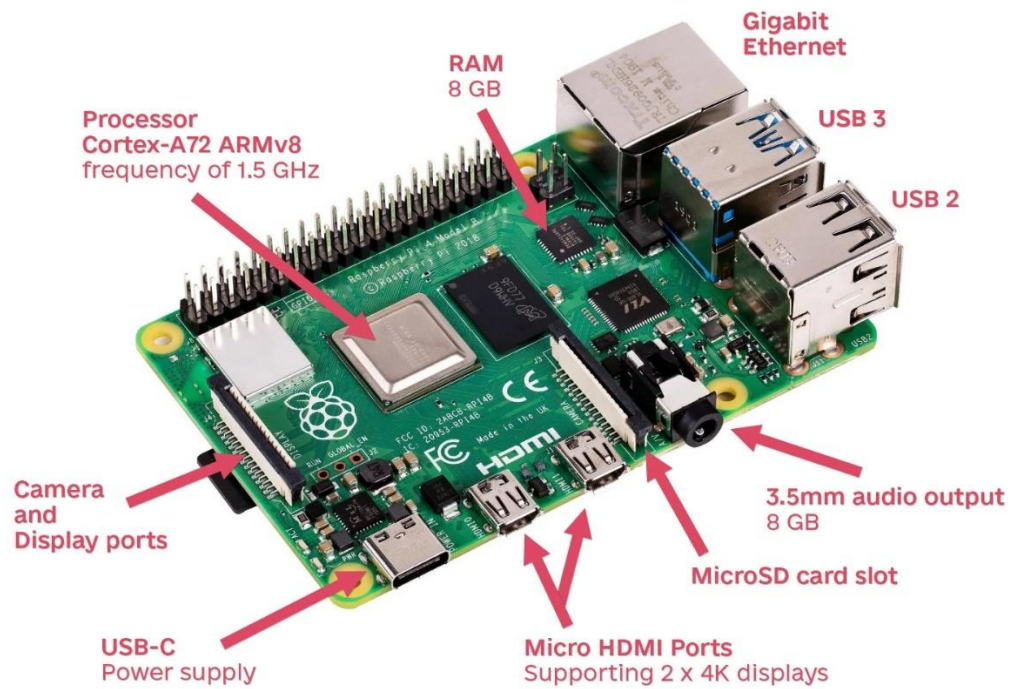


Рис. 4.2 Зовнішній вигляд та призначення виходів Raspberry Pi 4 Model B 8GB

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).

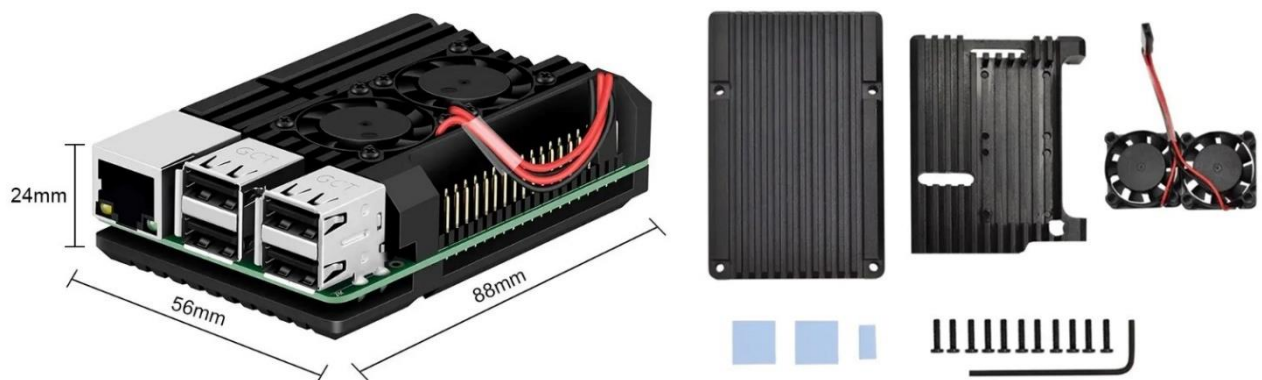


Рис. 4.3 Корпус для Raspberry Pi 4 Model B з активним охолодженням

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.

Розділ 4. Вибір обладнання

- 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 сервоприводів

На заміну комплектних сервоприводів (старої ревізії) були обрані аналогічні за габаритними розмірами, але більш потужні, сервоприводи DS3218MG-180 (Рис. 4.4).

Дані сервоприводи оснащені металевим редуктором та здатні розвивати тягове зусилля до 20 кг, що забезпечить більшу динаміку переміщень робочого органу РА, значний запас міцності та відсутність потреби у обслуговуванні даних вузлів.

Характеристики обраних сервоприводів зведено в Таблиця 4.2.



Рис. 4.4 Зовнішній вигляд сервоприводу DS3218MG-180 [8]

Таблиця 4.2

Характеристики сервоприводу DS3218MG-180

Модель	DS3218MG
Частота PWM	50-333 Hz
Тип редуктора	металевий
Кут повороту	180 °

Розділ 4. Вибір обладнання

Робоча напруга	4.8 - 6.8 В / 2.0 - 2.5А
Швидкість повороту (5.0В)	0.16 с / 60°
Швидкість повороту (6.8)	0.14 с / 60°
Зусилля тяги (5.0В)	18 кг
Зусилля тяги (6.8В)	21 кг
Розміри сервоприводу	40 х 40.5 х 20 мм
Вага	68 г

Для забезпечення довготривалої роботи вузлів робочого органу РА слід замінити стандартні комплектні фланці на аналогічні за габаритними розмірами алюмінієві монтажні фланці (Рис. 4.5).



Рис. 4.5 Зовнішній вигляд алюмінієвої монтажної втулки [9]

4.4. Вибір давача струму та напруги

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

- Інтерфейс підключення;
- Діапазон вимірювання струму та напруги;
- Тип напруги та струму (АС або DC);
- Точність вимірювання;
- Роздільна здатність давача;
- Швидкість вимірювання;
- Наявність автоматичного калібрування;

Розділ 4. Вибір обладнання

- Розміщення датчиків струму та напруги в одному пристрої;
- Зручність інтеграції з Arduino та розповсюдженість серед спільноти розробників.

У Таблиця 4.3 наведено порівняльну таблицю найбільш популярних на ринку моделей датчиків.

Таблиця 4.3

Порівняльний огляд різних датчиків 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

Розділ 4. Вибір обладнання

Швидкість вимірювання	Up to 3.4kHz (INA219)	N/A	N/A	2s (PZEM-004T V2), 1s (V3)	N/A
Автоматичне калібрування	Так	Ні	Ні	Ні	Ні
Розміщення датчиків в одному пристрої	Так	Так	Так	Так	Ні
Інтеграція з Arduino	Підтримується	Підтримується	Підтримується	Підтримується	Підтримується
Розповсюдженість серед спільноти	Висока	Висока	Висока	Середня	Середня

Виконавши порівняльний аналіз доступних на ринку датчиків струму та напруги було обрано датчик сімейства INA (Рис. 4.6). Одним з найбільш яскравих представників якої є INA219 (Рис. 4.6) характеристики якого зведено в Таблиця 4.4. Даний вид датчиків продається в декількох комплектаціях, що відрізняються кількістю входів/виходів та діапазоном вимірювання.

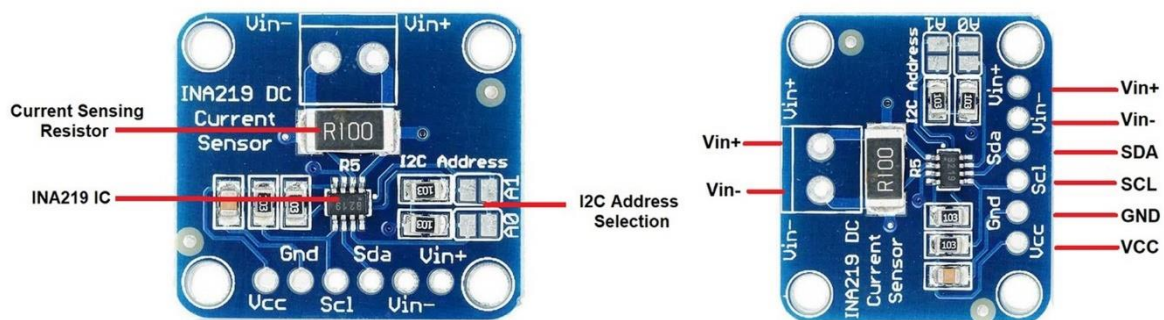


Рис. 4.6 Зовнішній вигляд та розпіновка датчика струму та напруги INA219

Таблиця 4.4

Розділ 4. Вибір обладнання

Характеристики давача струму та напруги INA219 з шиною I2C [10]

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 регістр
Внутрішні дані	вимірюваний струм та потужність
Фільтрація	x128 відліків
Робоча температура	від -40С до 85С
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 в обраний електричний бокс;

Розділ 4. Вибір обладнання

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

Всі наведені переваги також відносяться до модуля INA3221 (Рис. 4.7), ключовою відмінністю якого є наявність 3х каналів вимірювання струму та напруги. Що дозволить обмежити кількість модулів, що використовуються в одній системі та зменшити навантаження на мікроконтролер за рахунок зменшення кількості одночасно під'єднаних модулів по шині I2C. Основні характеристики даного модуля наведено у Таблиця 4.5. Порівнявши обидва давачі серії INA було обрано 3 давачі струму та напруги INA3221.

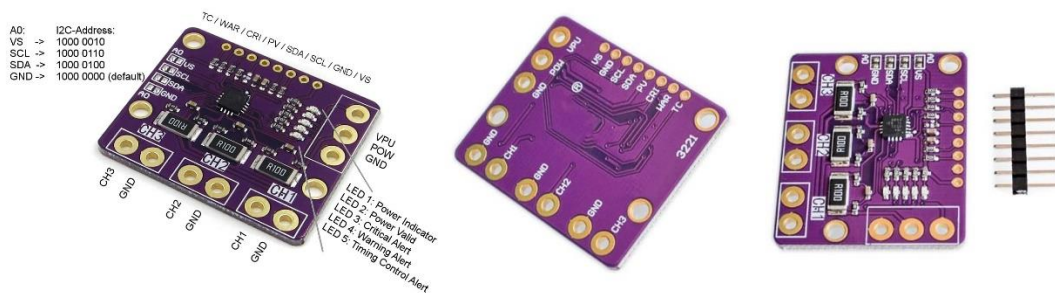


Рис. 4.7 Зовнішній вигляд давача струму та напруги INA3221 [11]

Таблиця 4.5

Характеристики давача струму та напруги INA3221 з шиною I2C [12]

Розділ 4. Вибір обладнання

Напруга живлення (V_{cc})	2.7-5.5 В
Вимірювальний діапазон напруги на шинах	0-26 В
Діапазон вимірювання струму	± 3.2 А (з опором 0.1 Ом)
Точність вимірювання напруги	$\pm 1.25\%$
Точність вимірювання струму	$\pm 1.5\%$
Роздільна здатність	12 біт
Частота I2C	до 400 кГц
Споживаний струм (типовий)	350 мкА
Робоча температура	-40°C до +125°C
Інтерфейс	I2C, SMBUS
Розмір корпусу	38 мм x 38 мм

4.5. Вибір давача положення

Для здійснення чіткого позиціонування робота маніпулятора у просторі важливо отримувати зворотній зв'язок по положенню в кожен момент часу руху. Для реалізації лабораторних робіт на стенді RA, в яких передбачені розрахунки, що ґуртуються на вимірних значеннях, важливо обрати модуль давача положення, який буде відповідати наступним головним критеріям: точності, швидкодії, комунікації з обраною системою керування.

Для забезпечення точного відслідковування положення та орієнтації робота-маніпулятора RA в просторі було обрано модуль акселерометра та гіроскопа MPU-6050 GY-521 (Рис. 4.8). Цей модуль забезпечує шість ступенів свободи (6DOF), що дозволяє вимірювати лінійні прискорення та кутові швидкості у трьох осях. Поєднання цих двох сенсорів в одному модулі дозволяє зменшити похибку вимірювань та підвищити стабільність роботи системи. Характеристики обраного модуля зведено в таблицю Таблиця 4.6.

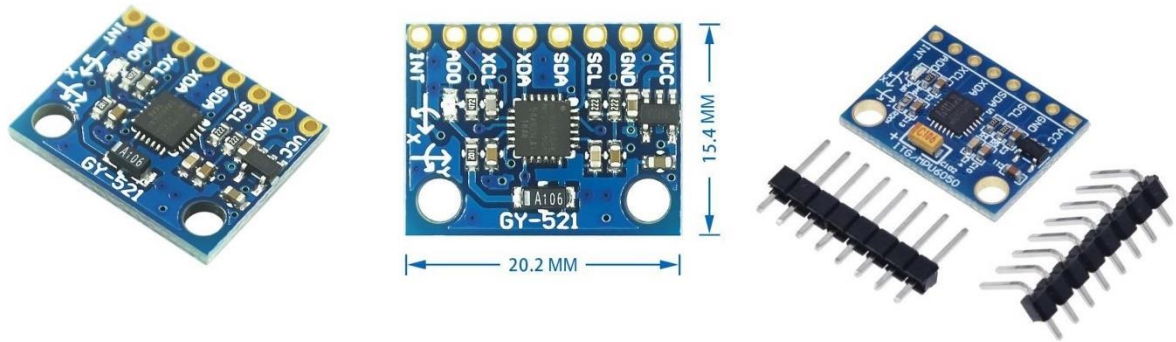


Рис. 4.8 Зовнішній вигляд модуля акселерометра та гіроскопа MPU-6050 GY-521, 6DOF [13]

Таблиця 4.6

Характеристики модуля акселерометра та гіроскопа MPU-6050 GY-521, 6DOF

Напруга живлення	3.3-5 В
Діапазон вимірювання прискорення	$\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, $\pm 16g$
Діапазон вимірювання кутової швидкості	± 250 , ± 500 , ± 1000 , ± 2000 град/с
Роздільна здатність	16 біт
Частота дискретизації	до 1 кГц
Інтерфейс	I2C (адреса: 0x68 або 0x69)
Споживаний струм (у режимі очікування)	5 мкА
Споживаний струм (під час роботи)	3.9 мА
Динамічний діапазон	92 дБ
Внутрішній буфер FIFO	1024 байт
Температурний діапазон роботи	-40°C до +85°C
Розміри модуля	20 мм x 15 мм

Модуль MPU-6050 GY-521 в порівнянні з аналогами (LSM6DS3, ICM-20948, BNO055) є оптимальним вибором для відслідковування положення в просторі робота-манипулятора завдяки своїй функціональності, точності та компактності. Він

Розділ 4. Вибір обладнання

забезпечує всі необхідні параметри для створення надійної та ефективної системи контролю положення та орієнтації робота.

4.6. Вибір додаткового обладнання

Для вирішення проблеми підключення великої кількості пристроїв, що обмінюються даними за протоколом I2C та мають обмежену (або фіксовану) кількість адрес, важливо передбачити модуль комутатор I2C на відповідну кількість каналів.

Подібні модулі дозволяють вибірково керувати кожною з підключених шин, зменшуючи конфлікти адрес та спрощуючи схему з'єднань.

Провівши аналіз пропозицій на ринку було обрано 8-канальний I2C комутатор на TCA9548 (Рис. 4.9). Технічні характеристики якого зведено в ?

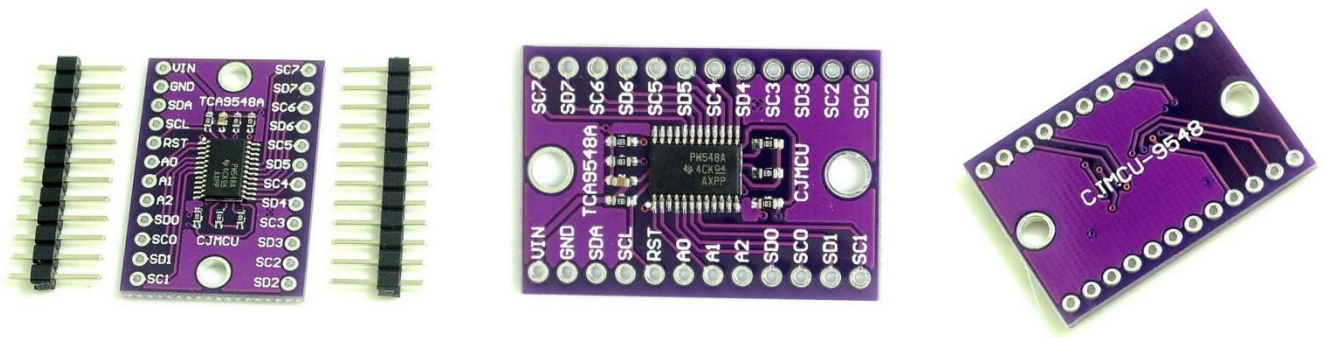


Рис. 4.9 Зовнішній вигляд 8-канального I2C комутатора на TCA954 [14]

Таблиця 4.7

Технічні характеристики 8-канального I2C комутатора на TCA954

Мікросхема комутатора	TCA9548A
Кількість каналів	8
Кількість можливих адрес комутатора	8
Діапазон адрес комутатора	0x70 - 0x77
Напруга живлення	1,65V - 5,5V
Напруга логічних сигналів по кожному з каналів	1,65V - 5,5V

Розділ 4. Вибір обладнання

Максимальний споживаний струм	100мА
-------------------------------	-------

4.7. Вибір джерела живлення

Для забезпечення стабільного живлення системи керування стенду RA необхідно виконати заміну раніше встановленого блоку живлення від PC (personal computer) на вбудований блок живлення відповідної потужності. Провівши аналіз витрат енергії всіх обраних модулів було визначено, що для забезпечення стабільної роботи системи необхідно обрати блок живлення 150W 5V OV-R5-30A з наступними параметрами Таблиця 4.8.



Рис. 4.10 Зовнішній вигляд вбудованого блоку живлення 150W 5V OV-R5-30A [15]

Таблиця 4.8

Характеристики обраного вбудованого блоку живлення 150W 5V OV-R5-30A

Вхідна напруга, $U_{вх}$.	220V/AC
Вихідна напруга, $U_{вих}$.	5 V/DC
Вихідний струм, $I_{вих}$.	30A
Максимальна потужність, $P_{макс}$.	150W
Габарити	200x100x42 mm

Розділ 4. Вибір обладнання

4.8. Вибір корпусу для електроніки

Для розміщення обраних компонентів системи RA необхідно обрати надійне рішення, що обмежить доступ до силової частини стенду та надасть змогу компактно розмістити обладнання під робочим органом RA.

Для встановлення обладнання було обрано монтажну коробку, що підходить за габаритними розмірами та задовольняє вимогу по захисту від пилу та інших великих часток - 200x150x80 мм IP65.



Рис. 4.11 Зовнішній вигляд обраного корпусу для електроніки 200x150x80 мм, IP65

4.9. 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.

Розділ 4. Вибір обладнання

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 швидкодію 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. 4.12). Основні технічні характеристики зведено до Таблиця 4.9.



Рис. 4.12 IP-відеокамера Hikvision DS-2CD1021-I(F) (2.8 мм) [16]

Таблиця 4.9

Розділ 4. Вибір обладнання

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.

Розділ 4. Вибір обладнання

- **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.

4.10. 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. 4.13)



Рис. 4.13 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 4.10.

Таблиця 4.10

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

Розділ 4. Вибір обладнання

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

4.11. Вибір матеріалів корпусу стенду

При виборі матеріалів для побудови стенду необхідно звертати увагу на ряд наступних ключових факторів: вартість, вага, легко займистість, потреба в обслуговуванні тощо. У Таблиця 4.11 виконано порівняння найбільш розповсюджених рішень, з точки зору практичного застосування вказаних матеріалів, для побудови подібних наукових стендів.

Таблиця 4.11

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)

Розділ 4. Вибір обладнання

	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. 4.14.

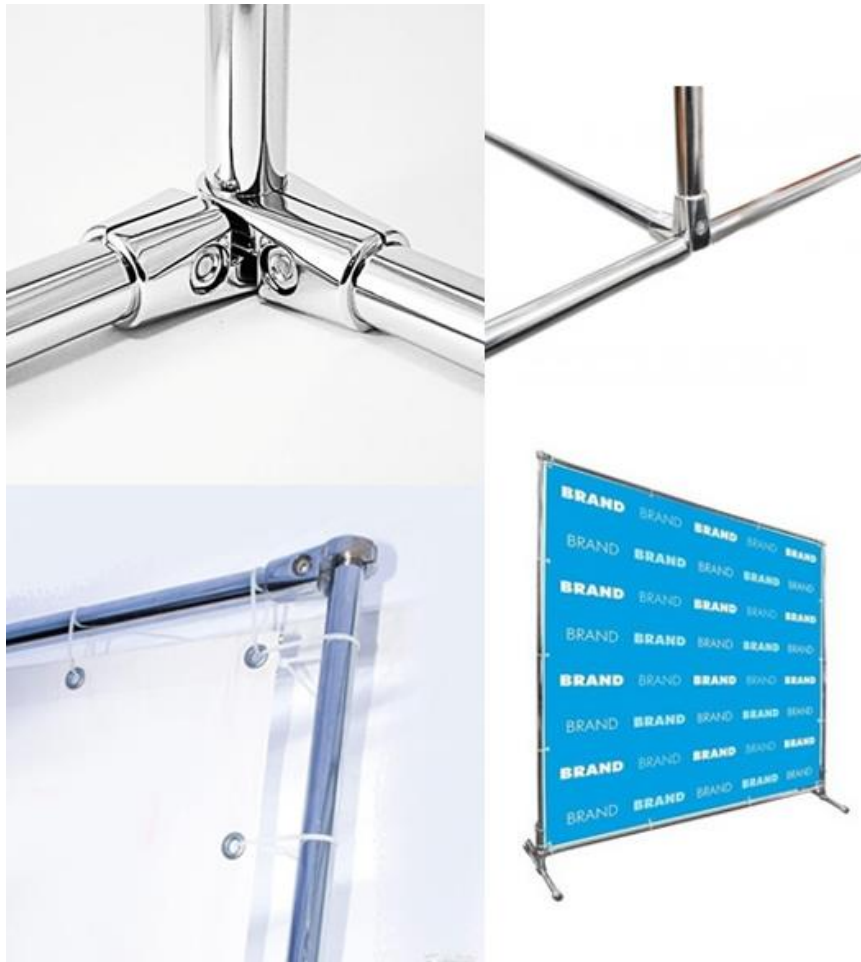


Рис. 4.14 Зовнішній вигляд банерів Press Wall [17][18]

Даний матеріал добре зарекомендував себе у існуючій конструкції RA, тому буде застосовуватись для подальшої модифікації стенду. Основні перевагами використання даного рішення: простота монтажу, легка вага, низька вартість матеріалу та можливість модифікації (за рахунок стандартизованих кріплень та перехідників).

4.12. 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.

Розділ 4. Вибір обладнання

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

Для уникнення бликів 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 бликів.
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 4.12 наведено основні переваги та недоліки їх використання.

Таблиця 4.12

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.

Розділ 4. Вибір обладнання

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. - Гарний світловий потік при малих габаритах. - Можливість кріплення на різних поверхнях. - Низька ціна.	- Без корпусу створює контрастні тіні та сильні відблиски (жорстке світло).

Оцінивши доступні на ринку рішення, щодо освітлення стенду – в якості джерела освітлення було обрано LED прожектор. За рахунок позиціонування на трубі

Розділ 4. Вибір обладнання

(Press Wall) можливо досягти оптимального куту освітлення та зменшити кількість бліків, що будуть напряму потрапляти до камери. Проте слід розуміти, що у випадку застосування робота з повністю глянцевою (металевою) покриттям корпусу не вдасться уникнути бліків та засвітлень, особливо під час руху. Рішенням в даному випадку є встановлення великих розсіювачів світла та використання спеціальних матеріалів на кшталт «Light Cone» [19], що суттєво вплине на вартість проекту та не є доцільним. Тому при проектуванні подібних стендів необхідно обирати маніпулятори з матовим покриттям корпусу та контрастного, по відношенню до оточення, кольору.

4.13. Висновки до четвертого розділу

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

1. Сервопривод DS3218MG-180 – 7 шт.
2. Алюмінієва монтажна втулка для серводвигунів – 7 шт.
3. Давачі струму та напруги INA3221 з шиною I2C – 3 шт.
4. Модуль акселерометра та гіроскопа MPU-6050 GY-521, 6DOF – 3 шт.
5. Arduino Uno Rev3 (ATmega16U2) – 2 шт.
6. 8-канального I2C комутатора на TCA954 – 1 шт.
7. Блок живлення 150W 5V OV-R5-30A – 1 шт.
8. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4 Model B 8GB разом з комплектним обладнанням. Корпус з радіатором, блок живлення, мишка, клавіатура, мишка, SD карта, HDMI кабель.
9. IP-відеокамера Hikvision DS-2CD1021-I(F) – 1 шт.
10. Елементи освітлення - LED прожектор.
11. Корпус для електроніки.

5. Розділ – Реалізація

5.1. Апаратна реалізація «Robot Arm»;

5.1.1. Крок 1: Встановлення додаткового обладнання

Оскільки частина наявного обладнання DMRA Dnipro University of Technology частково задовольняє вимогам проекту тож може бути використана для реалізації «Robot Arm». На Рис. 5.1, Можна побачити DMRA, який було взято за основу при побудові стенду.

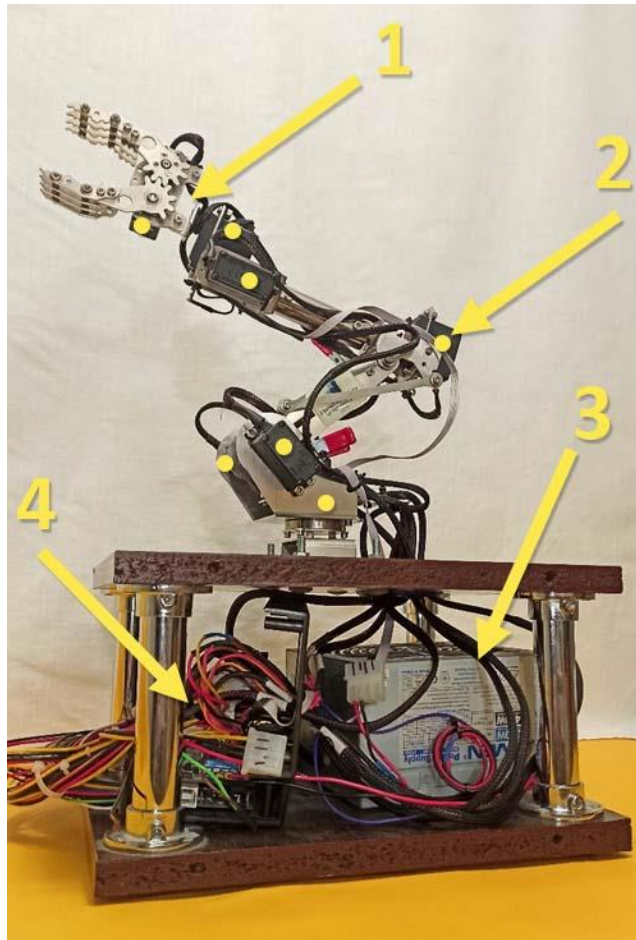


Рис. 5.1 Зовнішній вигляд DMRA де 1 – рама з нержавіючої сталі, 2 – сервоприводи, 3 – блок живлення від РС, 4 – блок електроніки

Для перевірки стану сервоприводів та визначення граничних робочих кутів ланок робота було розроблено тестовий Arduino скетч. Який у парі з блоком керування (Рис. 5.2, п.2) надавав можливість змінювати положення робочого органу

RA у трьох площинах (Рис. 5.2, п.1,3,4) за допомогою потенціометра та кнопки, що послідовно передає керування наступному за порядковим номером сервоприводу.

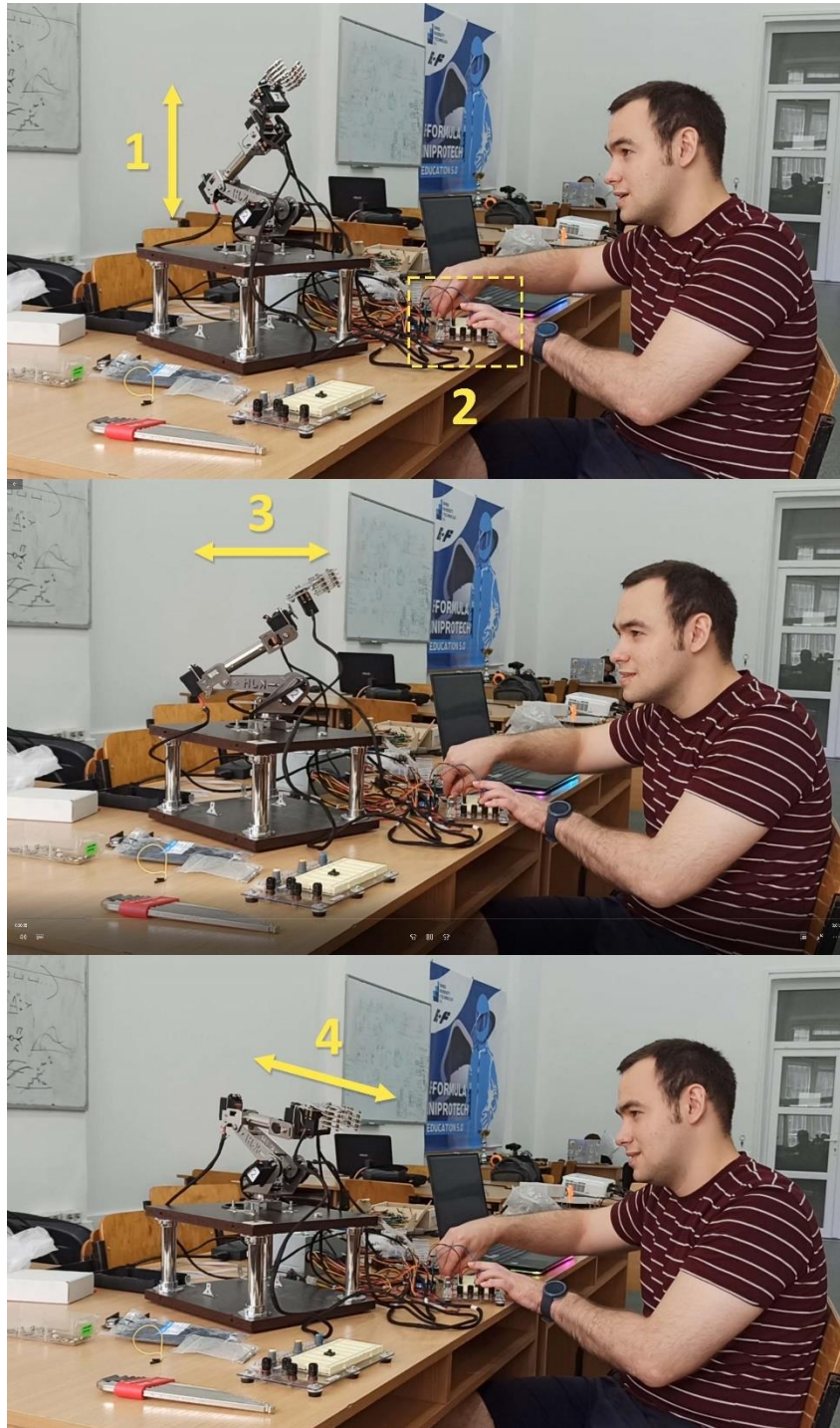


Рис. 5.2 Визначення граничних положень ланок робота маніпулятора де 2 – блок керування, 1,3,4 – напрямки зміни положення робота в просторі

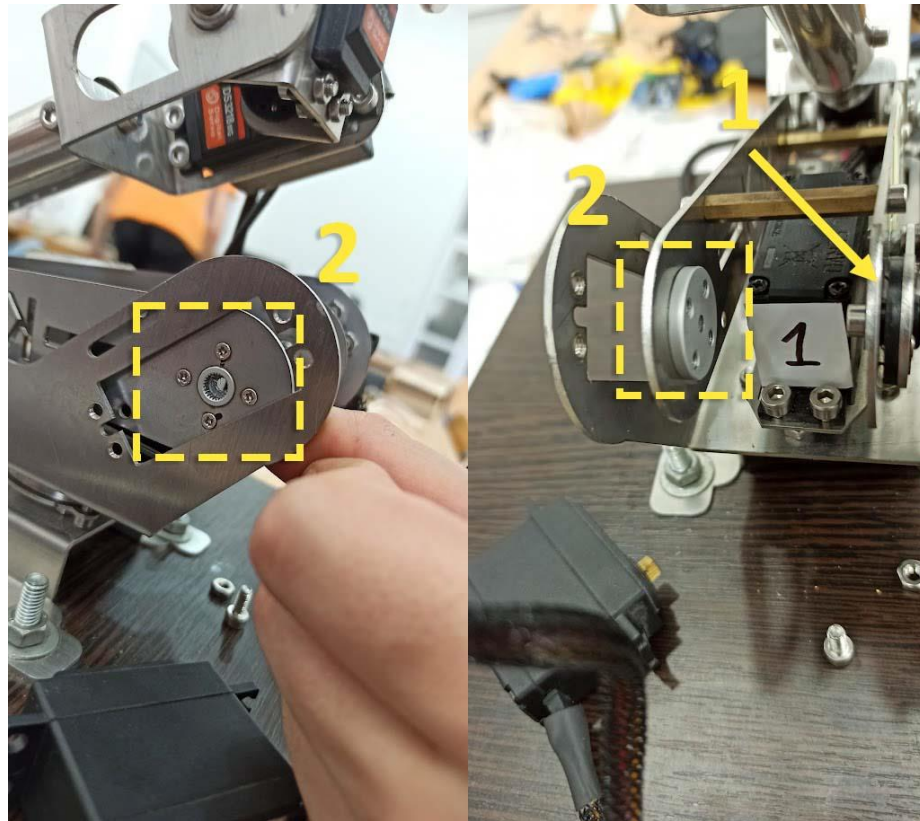


Рис. 5.3 Заміна пластикових фланців на алюмінієві де 1- пластиковий фланець, 2 – алюмінієвий фланець

Під час тестування роботи системи та стану сервоприводів було виявлено, що вони мають ряд недоліків, з точки зору електричної та механічної частини. Для усунення проблеми зі зносом оригінальних пластикових фланців сервоприводів (Рис. 5.3, п.1), що призводило до виходу з ладу вузла робочого органу RA, було виконано заміну оригінальних фланців на алюмінієві.

Схват робота також зроблений з нержавіючої сталі, що надає йому значної механічної міцності, проте утворює надлишок ваги на кінці руки маніпулятора. Оскільки курсом лабораторних робіт не передбачено переміщення важких об'єктів або роботи при підвищених температурах, було прийнято рішення виконати заміну більш важких губок схвату маніпулятора на полегшені, пластикові, що були надруковані на 3D принтері (Рис. 5.4).

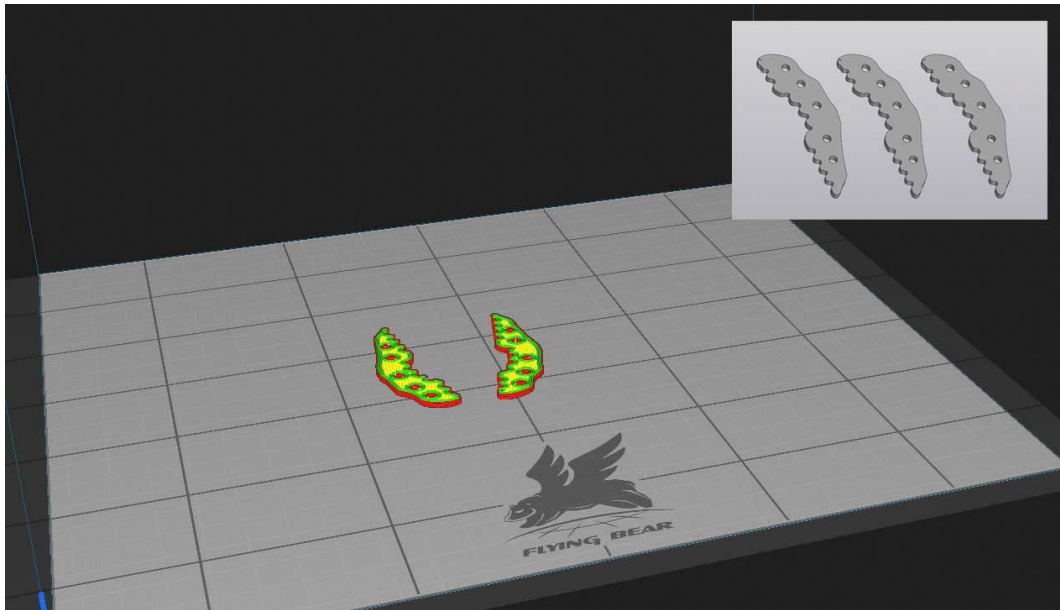


Рис. 5.4 Друк губок схвату RA

Наступним етапом у побудові RA, після усунення механічних недоліків, стало під'єднання обраного обладнання та розміщення його в монтажній коробці під робочим органом RA. На Рис. 5.5 зображено стенд RA після встановлення обраного обладнання.

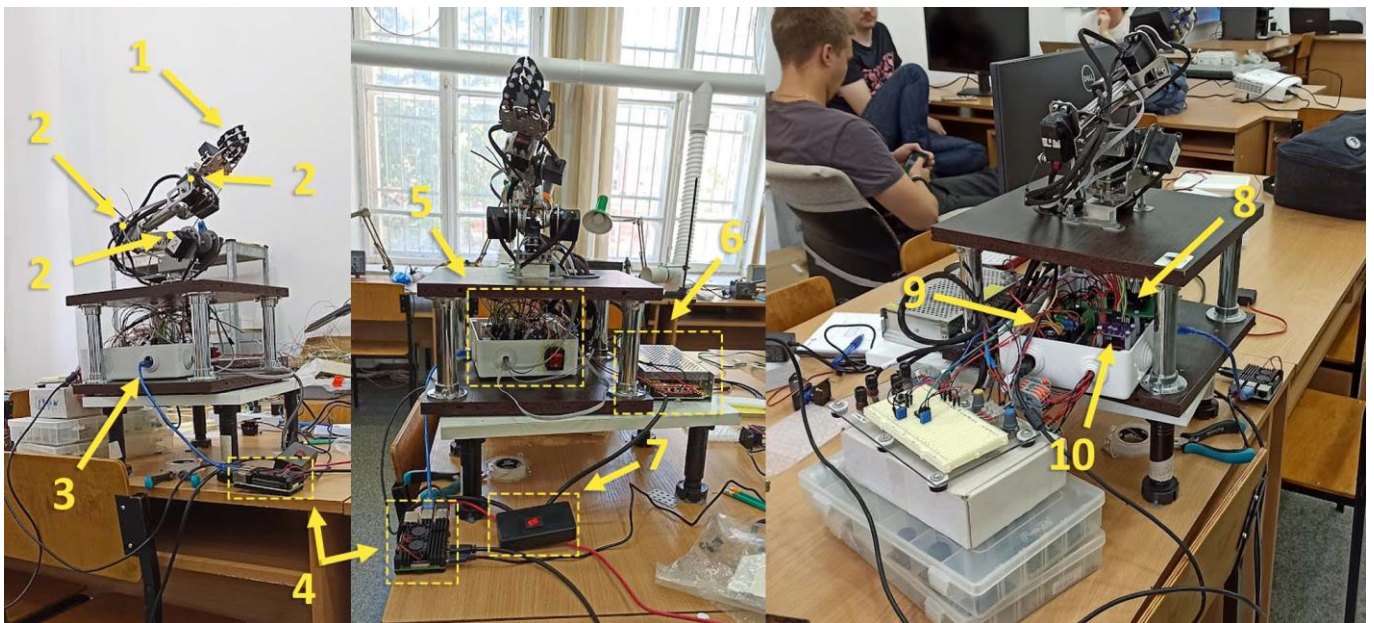


Рис. 5.5 Зовнішній вигляд під'єданого обладнання змонтованого на стенд RA де 1 – пластикові губки схвату, 2 - давачі положення MPU-6050, 3 – комунікаційний COM порт, 4 - Raspberry Pi 4, 5 – монтажна коробка зі встановленим обладнанням, 6 – блок живлення, 7 – головний вимикач, 8 – хаб живлення, 9 – система керування Arduino, 10 – давачі INA3221

За результатами тестування було виявлено, що комплектні двигуни не можуть бути використані для реалізації проекту, через значний знос редуктора та пошкоджень в електричній частині привода. На даному етапі відбулась заміна комплектних сервоприводів (старої ревізії) на нові DS3218MG-180 (Рис. 5.6, п.6).

На Рис. 5.6 зображено фінальну конструкцію стенду RA.

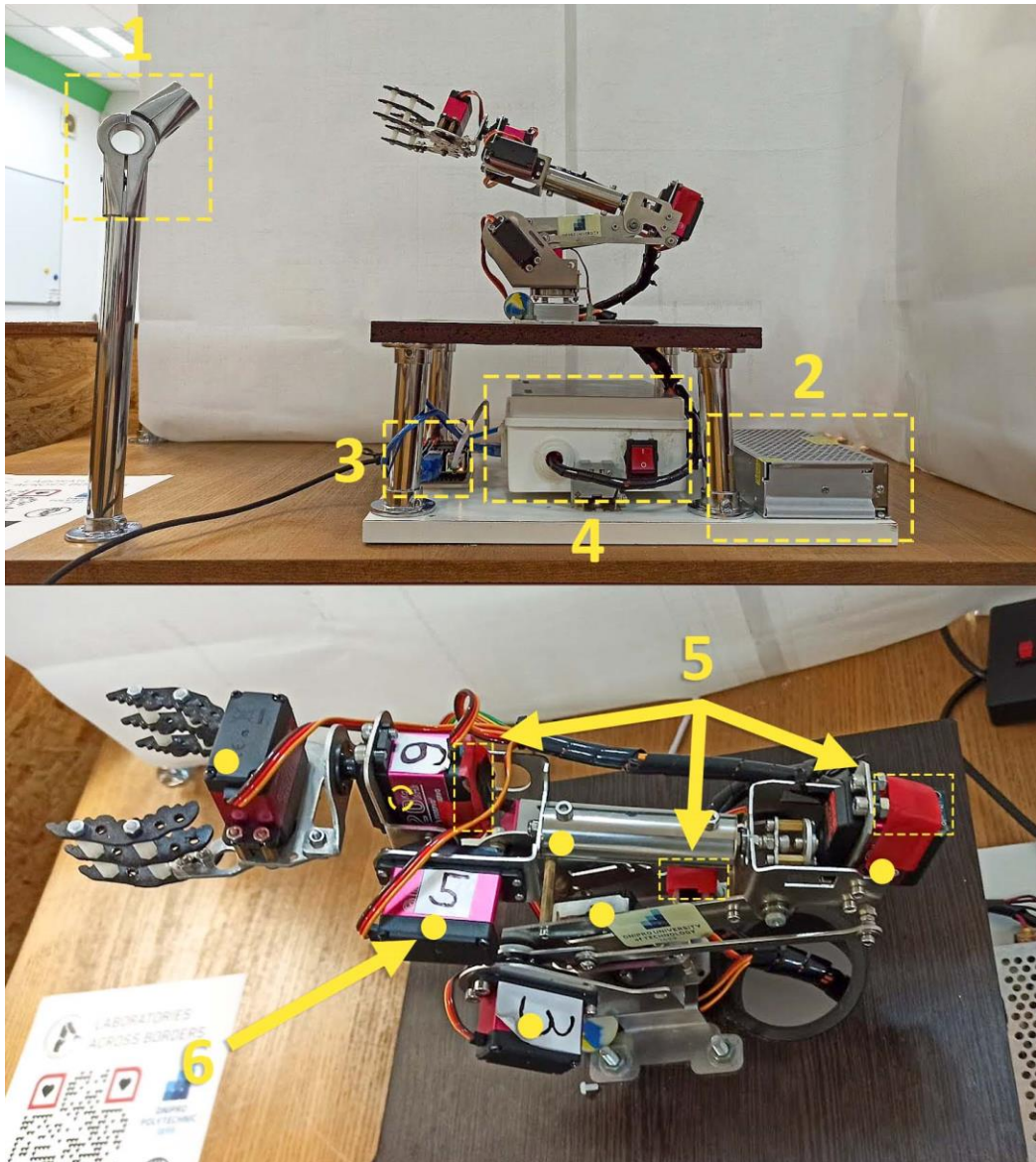


Рис. 5.6 Фінальна конструкція стенду RA де 1 – тримач для об'єкта, 2 – блок живлення, 3 - Raspberry Pi 4, 4 - монтажна коробка зі встановленим обладнанням, 5 - давачі положення MPU-6050, 6 - DS3218MG-180

5.1.2. Крок 2: Налаштування обладнання стенду;

Наступним етапом після підключення обладнання йде його налаштування. Давачі струму INA3221 під'єднуються до Arduino Uno за допомогою шини I2C.

Кожен з давачів має свою унікальну адресу в системі, яка налаштовується шляхом пайки відповідних перемичок на платі. Для налаштування давачів INA3221 необхідно виконати наступні кроки:

- Встановити бібліотеку Adafruit INA3221, 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 їх з вимірами сертифікованого обладнання. 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.

Далі слід виконати налаштування та калібрування давачів положення MPU-6050 (Рис. 5.7).

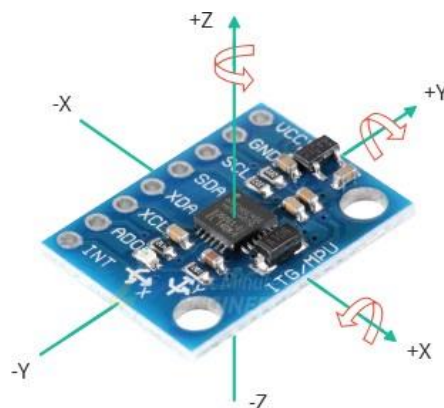


Рис. 5.7 Давач положення MPU-6050 [?]

MPU6050 - це потужний і універсальний сенсор руху, який поєднує в собі 3-осьовий гіроскоп та 3-осьовий акселерометр. Цей датчик широко використовується в

проектах робототехніки, навігації та стабілізації. Для роботи з ними існують готові Arduino бібліотеки 2Cdev та MPU6050. При роботі з потоком даних, що отримується з давачів слід ретельно віднестись до питань: калібрування давачів, фільтрації вихідного сигналу, підбору частоти опитування та орієнтацію сенсора в просторі. Ці фактори мають ключове значення при отриманні адекватних даних. Наприклад не правильне розміщення давачів MPU6050, в просторі, приведе до спотворення даних, оскільки даний давач вимірює лінійні прискорення та кутові швидкості вздовж своїх осей. Неправильне положення може спричинити постійні зміщення або дрейф у вимірюваннях. Це особливо важливо для гіроскопа, де дрейф може накопичуватися з часом і призводити до значних помилок. Для забезпечення стабільних і надійних даних сенсор повинен бути міцно закріплений на об'єкті. Будь-які рухи або вібрації, які не відносяться до вимірюваного об'єкта, можуть вплинути на точність даних. Акселерометр в MPU-6050 вимірює прискорення, включаючи гравітацію. Правильна орієнтація сенсора дозволяє точно враховувати компонент гравітації в вимірюваннях та забезпечує правильну інтерпретацію даних. Місця розміщення давачів на RA можна побачити на Рис. 5.6.

Для владодження роботи кожного з вказаних давачів доцільно використовувати блок керування (Рис. 5.2, п.2).

Наступним кроком після встановлення та калібрування давачі стало налаштування комунікації по COM порту за допомогою комунікаційного порту Arduino Uno – USB Type B (Рис. 5.5, п.3). 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. 5.8). Камера повинна повністю охоплювати межі робочого поля РА з метою реалізації можливості візуального відстеження способу під'єднання елементів схеми, а також відслідковування траєкторії руху робота маніпулятора.

В ході проведення експериментів було виявлено, що для обраної IP камери оптимальною відстанню до виконавчого органу РА є 70-90 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. 5.8 Налаштування IP камери. Визначення дистанції та куту розміщення за допомогою штатива.

5.1.3. Крок 3: Розробка корпусу стенду

Існуючу конструкцію корпусу RA було модифіковано за рахунок заміни основи на шматок листового ламінованого ДСП (Particle board) більшого розміру (Рис. 5.9, п.4). Що дозволило розмістити все додане обладнання під робочим органом RA. З метою забезпечення кращої видимості об'єкта дослідження, його освітленості та візуального відокремлення стенду від фону (у випадку спостереження через камеру)

Розділ 5. Реалізація

– було встановлено захисний екран (Рис. 5.9, п.1). Даний екран представляє з себе раму з труб Press Wall, які дозволяють легко кріпити додаткове освітлювальне обладнання. Для забезпечення виконання задач досягнення схватом робота маніпулятора певного об'єкта, з метою переміщення або фіксації у просторі, було встановлено тримач, що складається з труб Press Wall (Рис. 5.9, п.2). Камеру IP було встановлено на штатив безпосередньо перед тримачем, таким чином, щоб RA та об'єкт повністю потрапляли у зону видимості камери. Використання штативу (Рис. 5.9, п.3) дозволяє більш точно визначити фінальне місце розташування камери на стенді за рахунок легкої зміни кута огляду. Також подібний підхід змінює вхідні умови проведення лабораторних робіт, що може бути корисним для розвитку просторового мислення під час виконання лабораторних робіт.

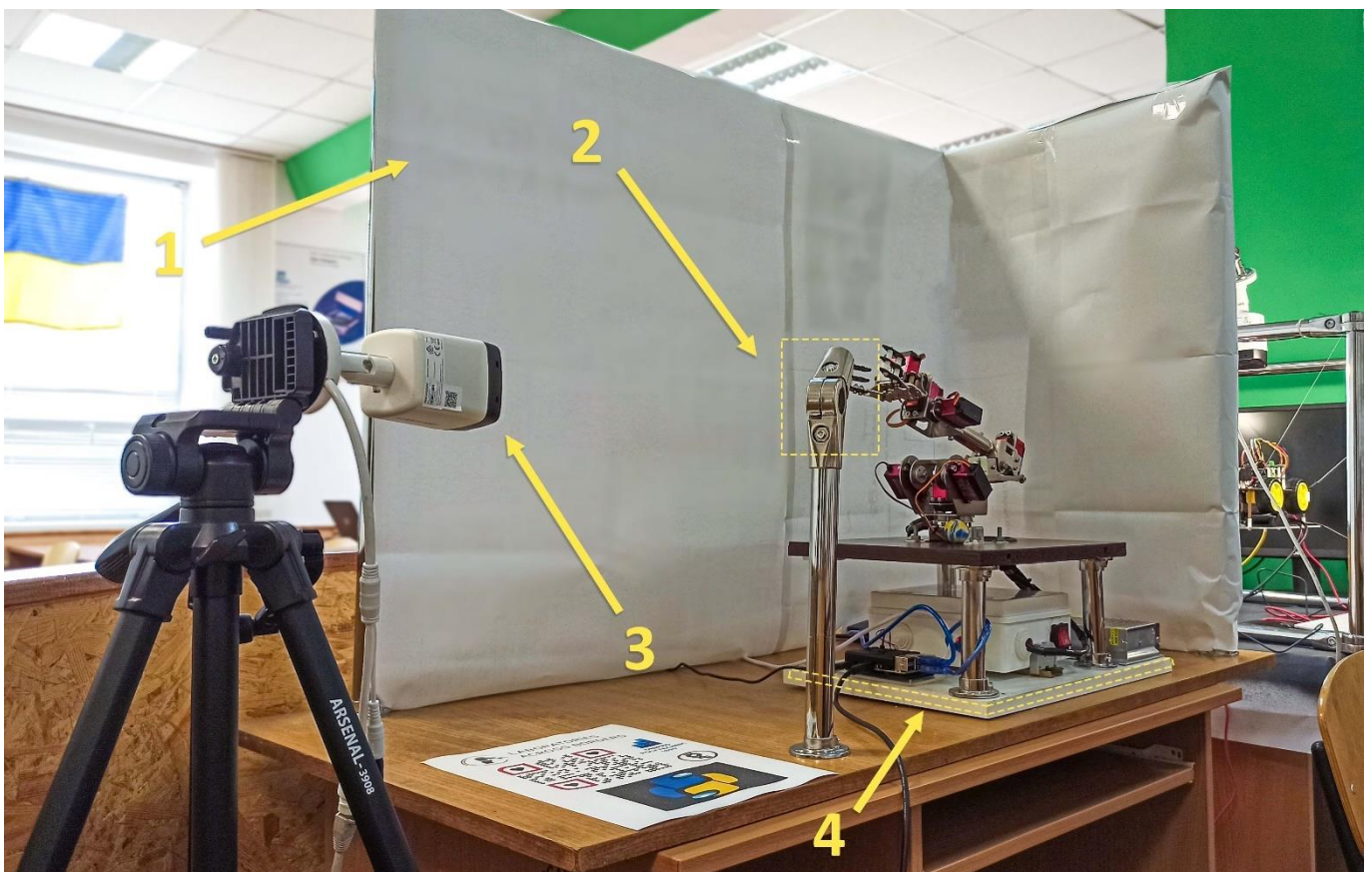


Рис. 5.9 Корпус стенду RA

5.1.4. Структурна схема та зовнішній вигляд «Car Vali»

Фінальний склад обладнання, а також функціональна схема фінальної конструкції стенду «RA» зображена на Рис. 5.10 та Рис. 5.11. Електрична принципова схема зображена на Рис. 5.12. Умовні позначення, що використовуються у схемах зведені у Таблиця 5.1?

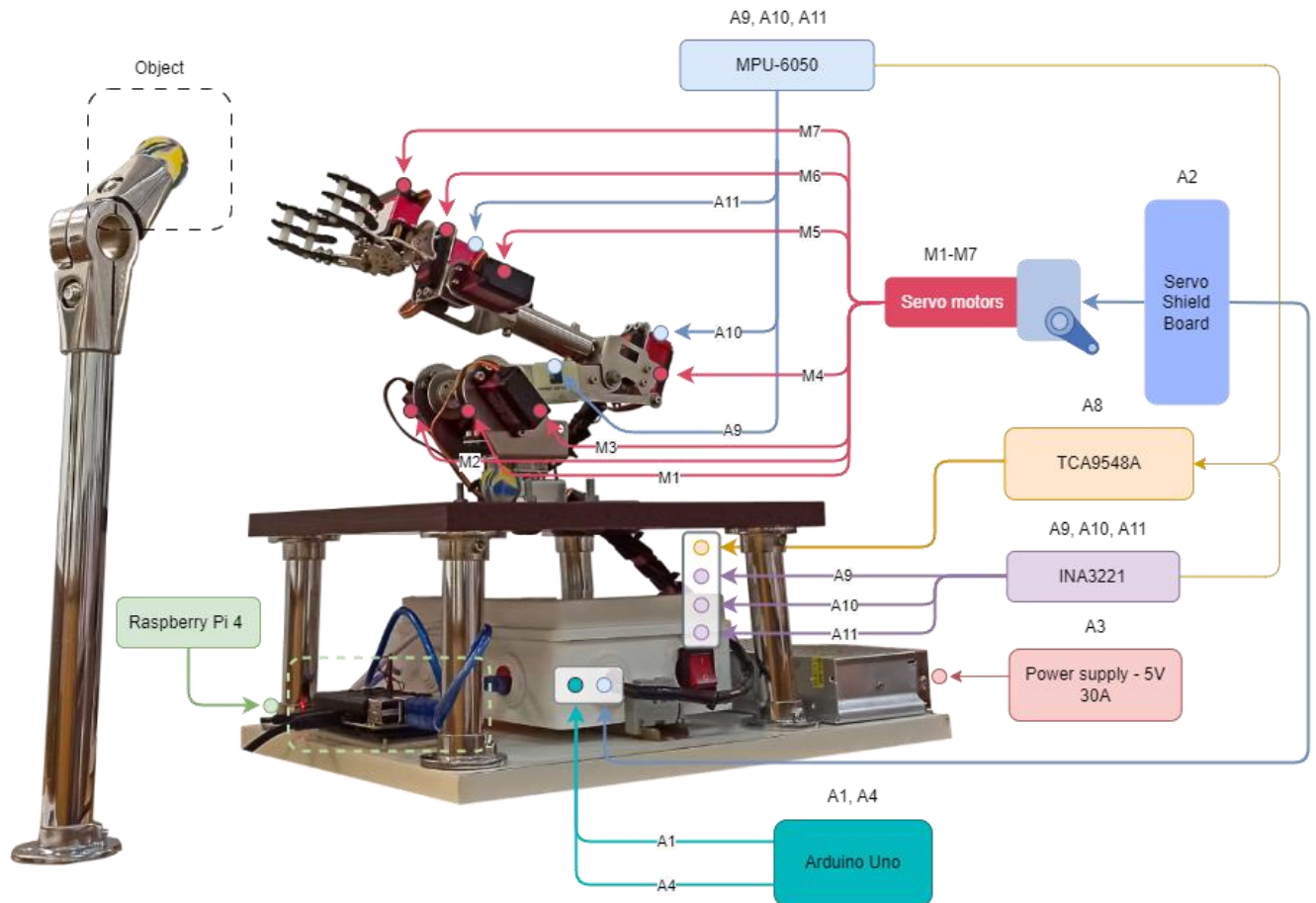


Рис. 5.10 Склад обладнання стенду Robot Arm

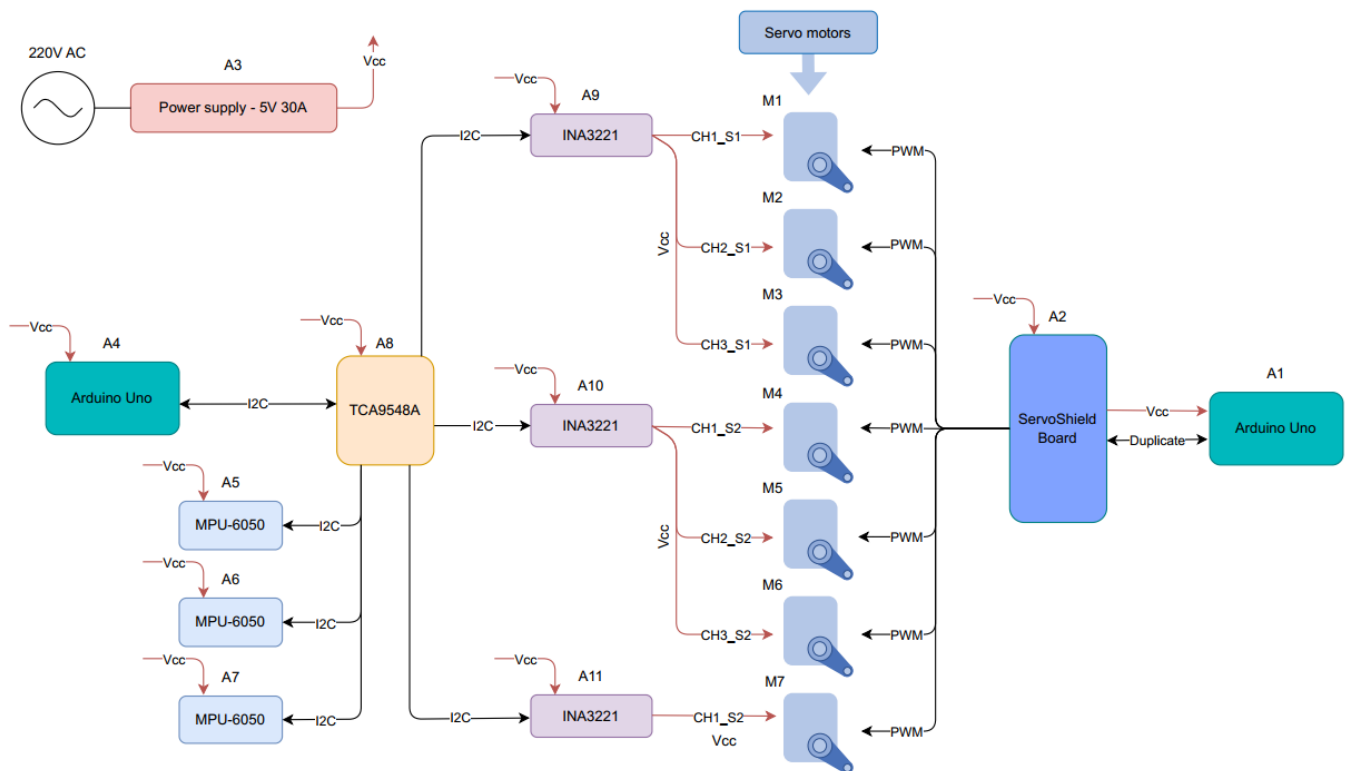


Рис. 5.11 Функціональна схема станду Robot Arm

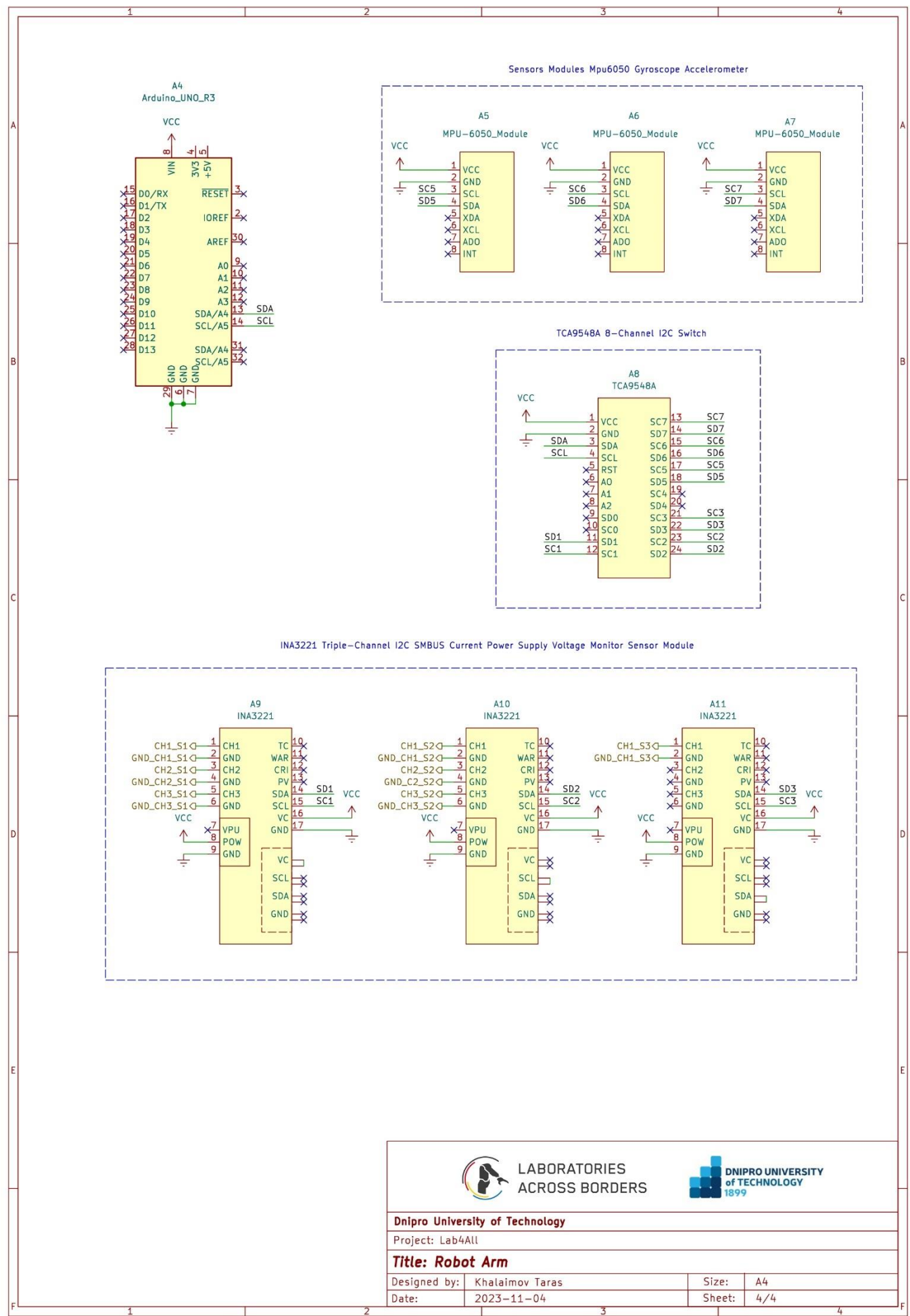
Таблиця 5.1

Список умовних позначень на схемах:

A1	Перший з двох контролерів Arduino Uno, який призначений для керування серводвигунами станду «Robot Arm» (M1-M7).
A2	Додаткова плата розширення Servo Shield Board;
A3	Power Supply, електронний блок живлення
A4	Другий з двох контролерів Arduino Uno, який призначений для опитування датчиків станду «Robot Arm».
A5, A6, A7	Модуль датчика MPU-6050, що поєднує функції акселерометра і гіроскопа в одному корпусі з 6-координатним (6DOF).
A8	Модуль TCA9548A, мультиплексор або комутатор для I2C шини.
A9, A10, A11	Датчик струму та напруги INA3221.

R1	Raspberry Pi 4
----	----------------

Розділ 5. Реалізація



LABORATORIES
ACROSS BORDERS



DNIPRO UNIVERSITY
of TECHNOLOGY
1899

Dnipro University of Technology

Project: Lab4All

Title: Robot Arm

Designed by: Khalaimov Taras

Date: 2023-11-04

Size:

A4

Sheet:

4/4

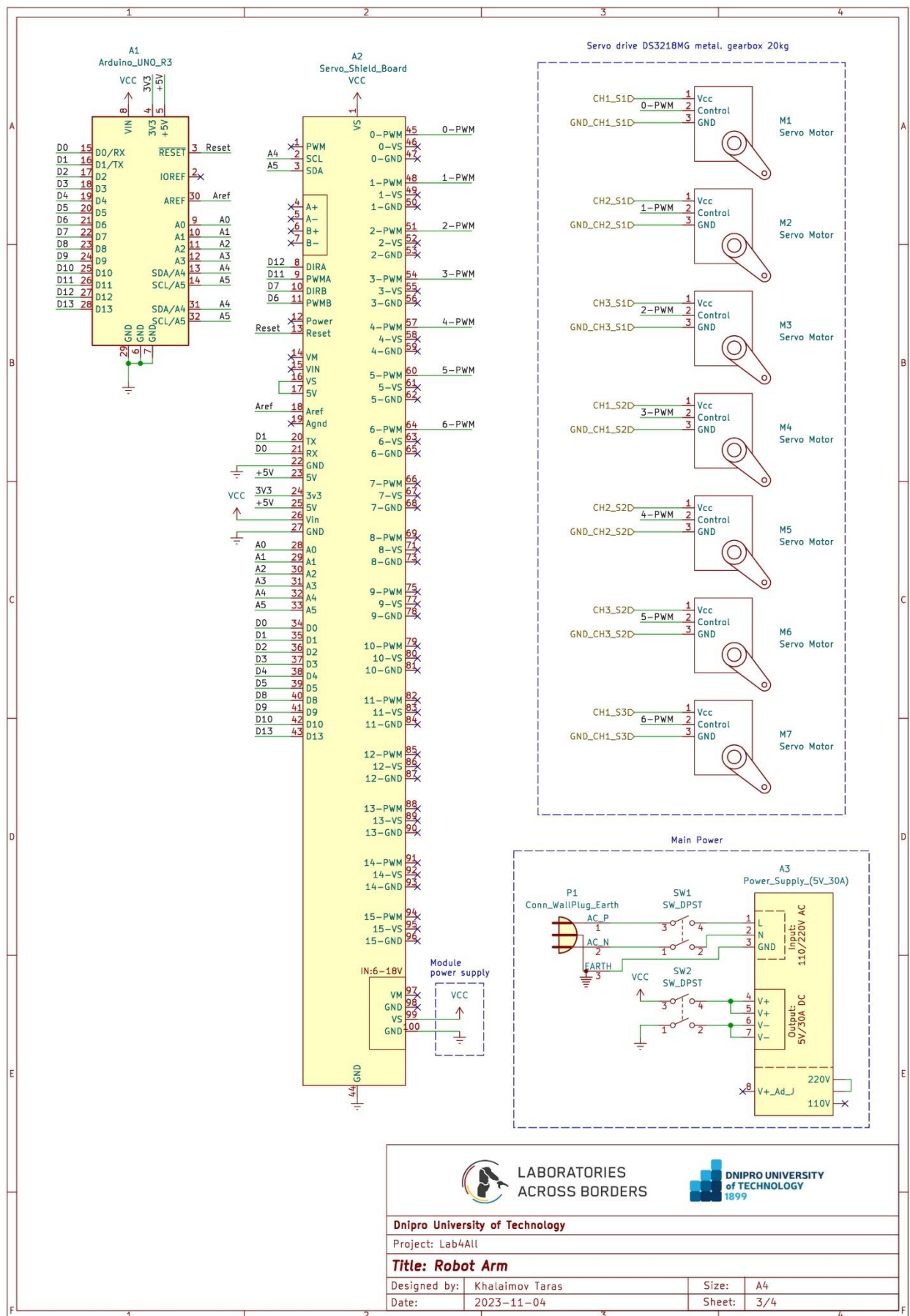


Рис. 5.12 Схема електрична принципова стенду RA



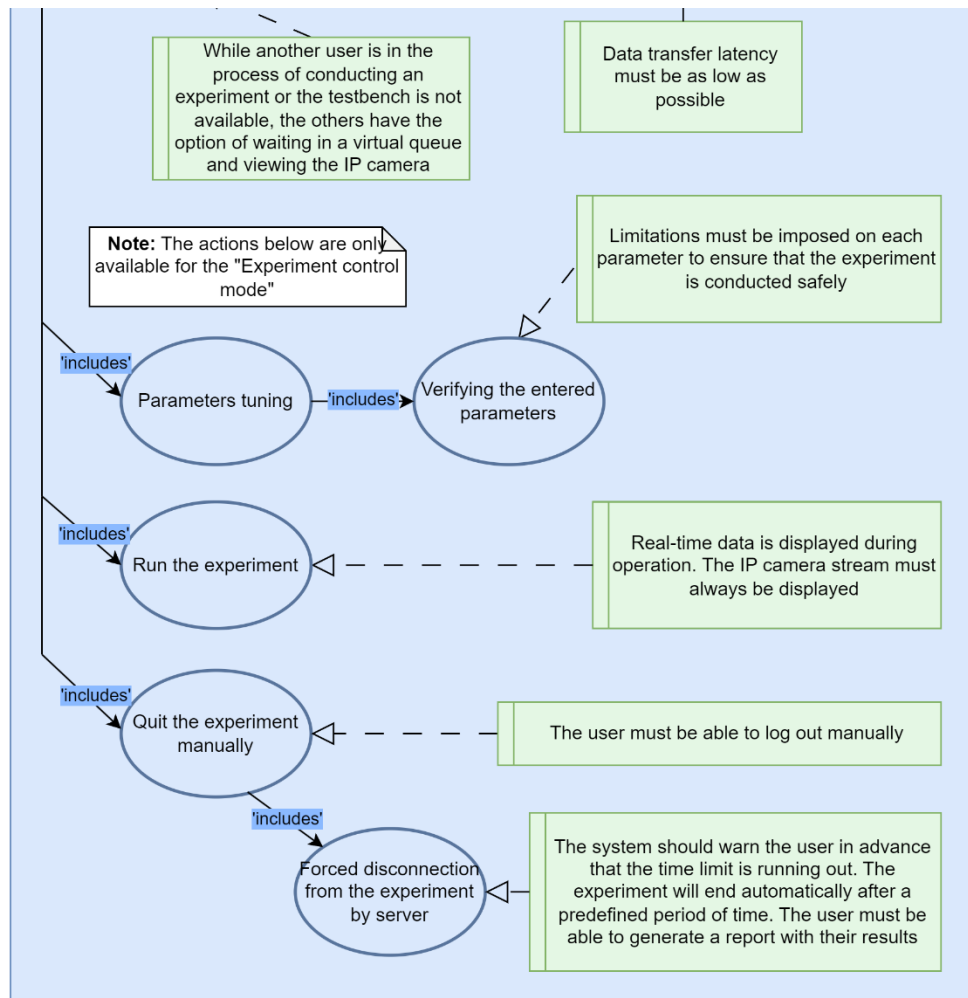


Рис. 5.13 Сценарії взаємодії

Типові сценарії взаємодії з лабораторним стендом віддаленого керування наведено на Рис. 5.13. Сценарій використання слід розуміти і читати як послідовність кроків зверху вниз.

5.2.2. Узагальнена структурно-алгоритмічна організація досліджуваної системи

На Рис. 5.14 наведена структурна схема розробленого архітектурного рішення апаратної частини для можливості реалізації концепції віддаленого моніторингу та керування, та подальшої розробки програмного забезпечення.

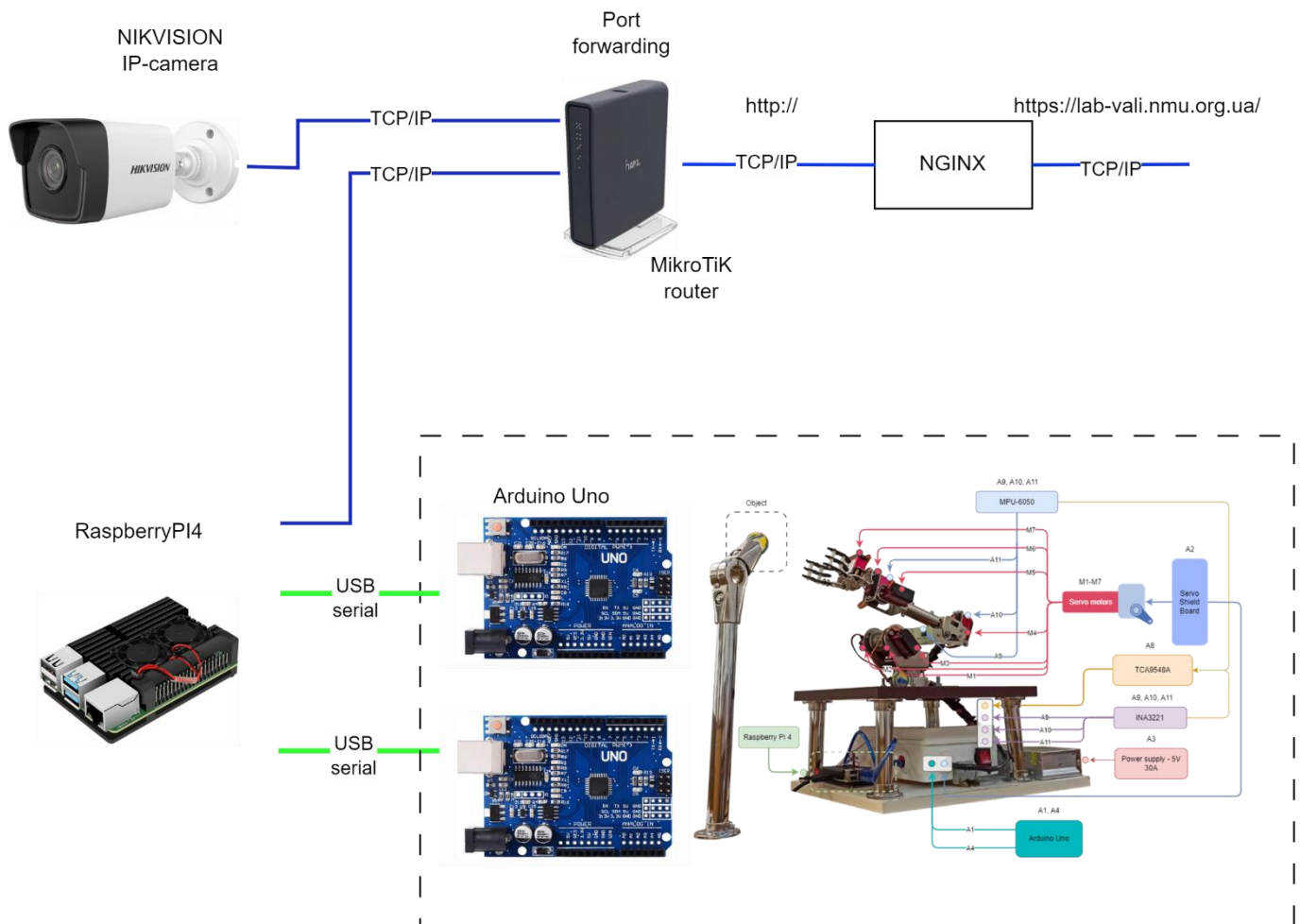


Рис. 5.14 Структурна організація досліджуваної системи

Структурна організація досліджуваної системи (Рис. 5.14) 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 «RA» 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. 5.15), а також внутрішній інтерфейс і обробка даних за університетським сервером (Рис. 5.15). 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 (фронтом) 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 RA відбувається по зашифрованому з'єднанню HTTPS <https://lab-robotarm.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 RA.

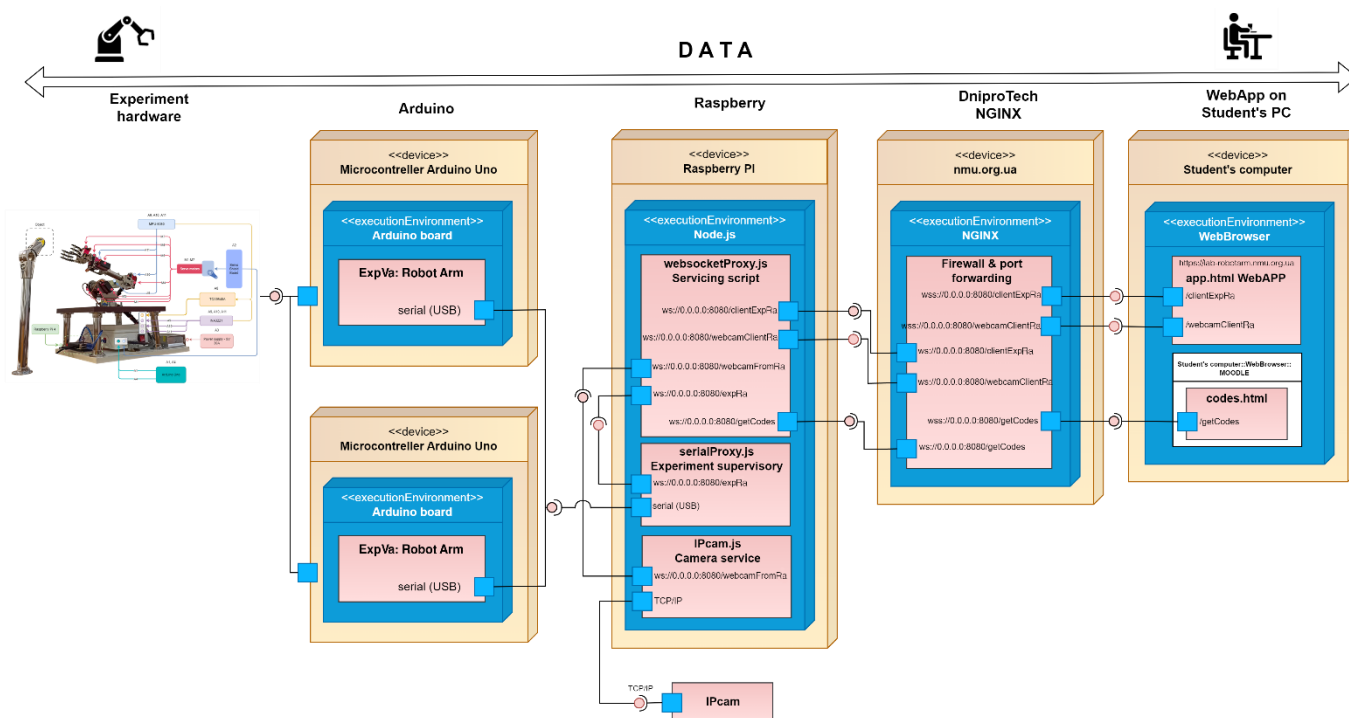


Рис. 5.15 Концепція віддаленого керування для RA experiment

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. 5.16) і використовувати його на веб-сторінці експерименту <https://lab-robotarm.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. 5.16 Реалізація codes.html в MOODLE, який показує поточний код доступу

Комунікації на різних архітектурних рівнях розробленої системи віддаленого керування проілюстровано на Рис. 5.17. 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.

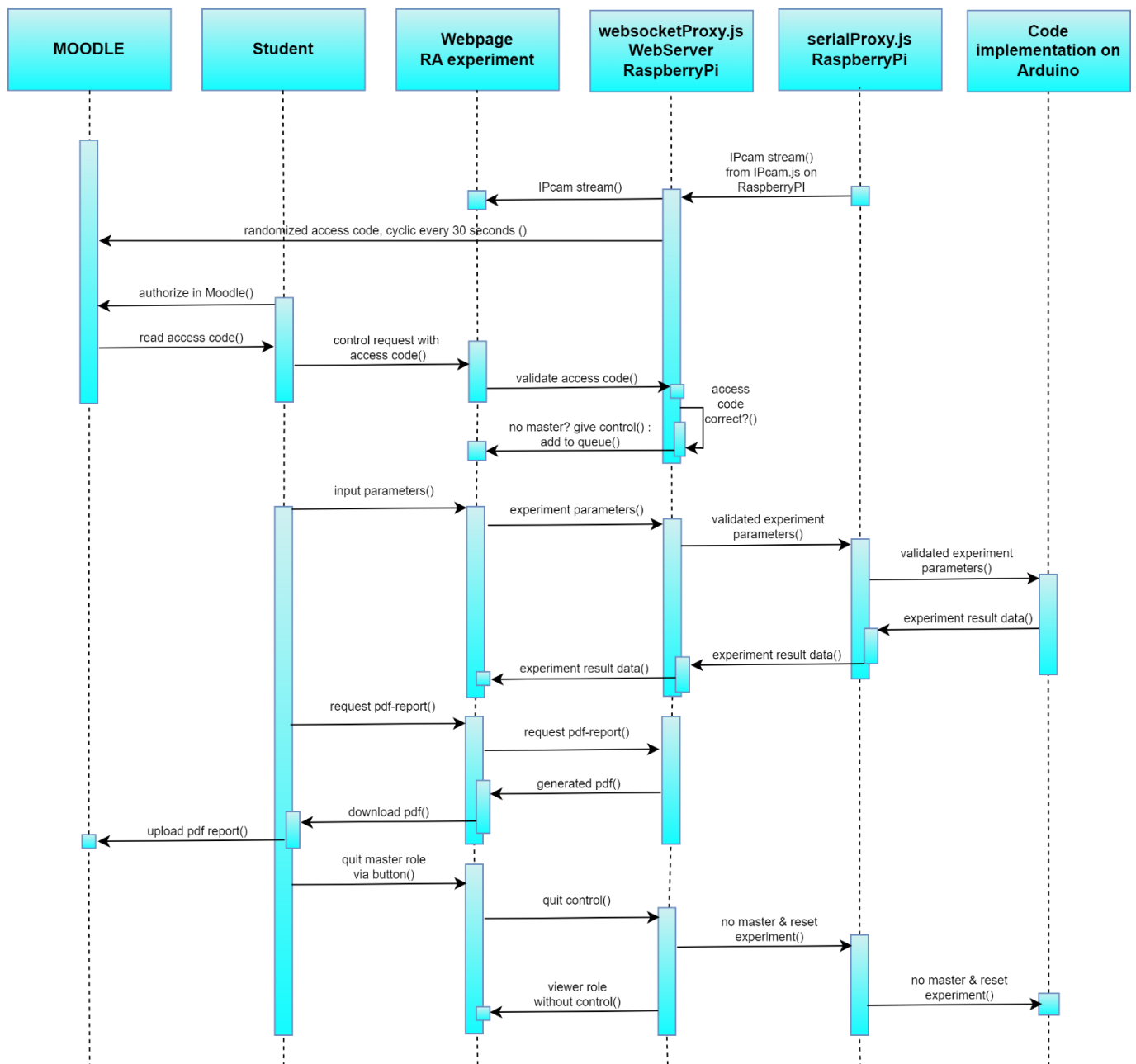


Рис. 5.17 Базова схема комунікації на різних архітектурних рівнях розробленої системи віддаленого керування

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 [20]. 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', 'mjpeg',
        '-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 [21] 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 RA необхідно скористатись посиланням (Кнопка «Robot Arm» Рис. 5.18), яке доступне на сайті кафедри електропривода Dnipro University of Technology [22], де також знаходиться загальний опис проекту та посилання на методичні вказівки.

Експерименту з віддаленим керуванням «Robot Arm»

Кінематичний аналіз робота 6Dolt Mobile Robot Arm (6DMRA)

Мотивація:

Метою створення лабораторного стенду з віддаленим керуванням «Robot Arm», є реалізація можливості дослідження кінематики руху робота маніпулятора на прикладі зменшеної версії промислового робота з 6 ступенями свободи - 6DOF Dolt Mobile Robot Arm (DMRA), в задачах мехатроніки. З можливістю оцінки перехідних процесів, що виникають у безщіткових двигунах постійного струму.

Головною задачею проекту – є реалізація віддаленого керування засобами Web-інтерфейсу для виконання лабораторних робіт в рамках дисципліни «Мехатронні комплекси та системи» для студентів 5 та 6 курсів. Даний стенд є частиною вже існуючих лабораторних стендів з віддаленим доступом, що були створені в рамках проекту Laboratories Across Borders (LAB) у співпраці між університетом «Reutlingen University», Germany та Dnipro University of Technology, Ukraine.



Посилання на сторінку експерименту:

ROBOT ARM

Методичні вказівки:

«Вивчення конструкції, параметрів та кінематичної схеми робота 6Dolt Mobile Robot Arm (6DMRA)»

«Кінематичний аналіз робота 6Dolt Mobile Robot Arm (6DMRA)»

«Кінематичний аналіз робота DMRA: зворотна задача кінематики»

Рис. 5.18 Сторінка «Car Vali» на сайті Dnipro University of Technology

Після переходу на сторінку експерименту RA для отримання доступу до керування експерименту слід виконати наступні кроки, які показано на Рис. 5.18.

Step #1: Ознайомитись з інформаційним вікном та натиснути кнопку «Open ra6DOF 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».

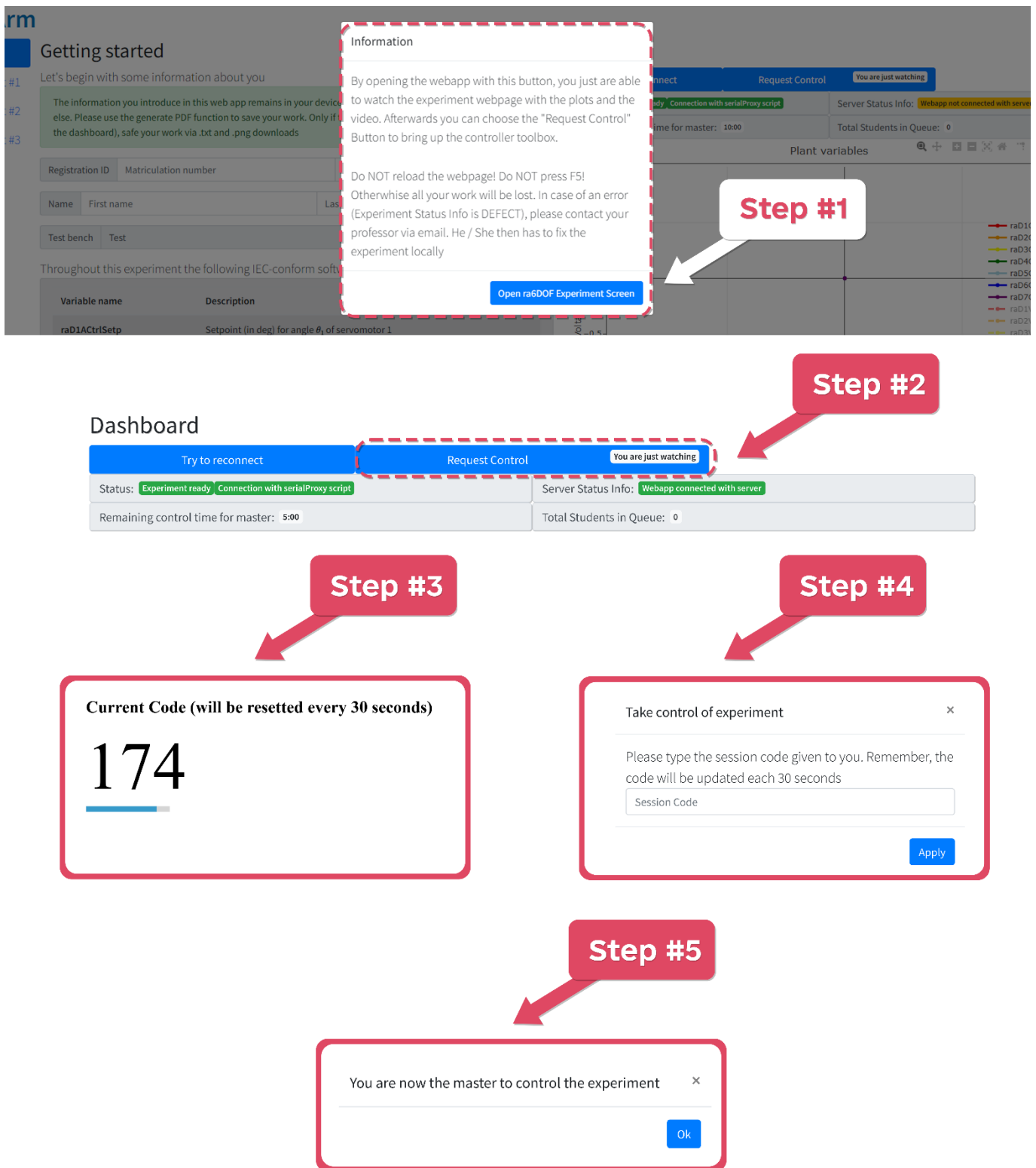


Рис. 5.19 Процес отримання доступу до RA

На сторінці стенду RA 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. 5.19, п.1) на кнопці «Request control». Кількість часу, яка відведена на виконання роботи, відображається у вигляді зворотного таймера (Рис. 5.19, 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. 5.19, 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. 5.19, 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. 5.19, п.6). В разі подовження часу за допомогою кнопки «Yes, 2 more minutes» зміниться індикатор залишку часу «Remaining control time for master» (Рис. 5.19, 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. 5.20 Черга на доступ RA

Control Engineering
Innovative Energy Systems
LAB Experiments



Report

6DOF experiment 1,

General information

Registration number

Last name, First name

Test bench Ra6DOF

LAB 1. Results

Coordinates of the grip [x,y,z]

O_6 [x ; y ; z ;]



NO DATA PROVIDED

Q1: What can be observed in the Current/Time diagram during operation of each separate servo drive?

LAB 2. Results

Angle, deg

Coordinates of the grip [x,y,z]

θ_1 Real
 θ_2 O_6 [x ; y ; z ;]
 θ_3 Math
 θ_4 O_6 [x ; y ; z ;]
 θ_5
 θ_6



NO DATA PROVIDED

Q2: What are the steps of the Denavit-Hartenberg method?

LAB 3. Results

Coordinates of the robot [x,y,z]

Angle, deg

O_1 [x ; y ; z ;] θ_1
 O_2 [; ; ;] θ_2
 O_3 [; ; ;] θ_3
 O_4 [; ; ;] θ_4
 O_5 [; ; ;] θ_5
 O_6 [; ; ;] θ_6



NO DATA PROVIDED

Q3: What theorem underlies all the calculations?

General data

Date Date
Key none

Рис. 5.21 Звіт лабораторної роботи RA



Рис. 5.22 Резервні вихідні дані виконання лабораторної роботи RA

5.4.2. Інтерфейс лабораторної роботи

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

Вкладка «Home»:

Для виконання циклу лабораторних робіт спершу слід перейти за посиланням на web-інтерфейс «Robot Arm». Користуючись кнопкою «Request Control» панелі

Розділ 5. Реалізація

«Dashboard» (Рис. 5.23, п.3) ввести трьохзначний код доступу, який надасть викладач. Після успішного під'єднання слід ввести свої персональні дані у полі «Getting started» (Рис. 5.23, 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 переконавшись, що у вас вимкнені всі засоби блокування реклами (Adblock, uBlock, вбудовані інструменти браузера тощо). Після заповнення даних можна переходити на вкладку «Laboratory experiment #1» користуючись панеллю (Рис. 5.23, п.1).

Також на вкладці «Home» можна знайти наступні інструменти:

- вікно перегляду графіків «Plant variables» (Рис. 5.23, п.4);
- перелік змінних, що відображаються на графіку (Рис. 5.23, п.6);
- вікно перегляду відео в режимі реального часу з IP-камери (Рис. 5.23, п.5).

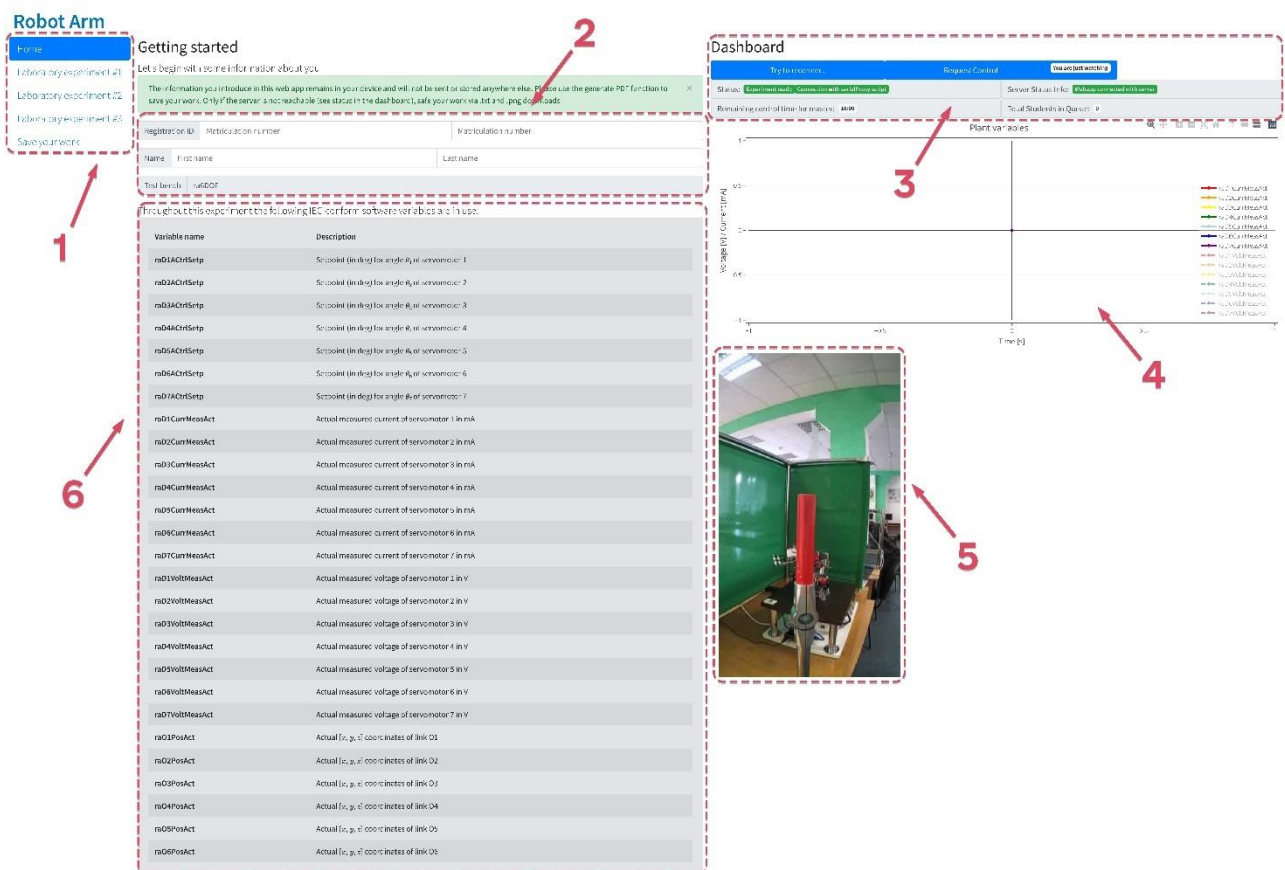


Рис. 5.23 Вкладка «Home» web-інтерфейсу керування «Robot Arm»

Вкладка «Laboratory experiment #1»:

Вкладка «Laboratory experiment #1» призначена для виконання першої лабораторної роботи, яка присвячена вивченню конструкції, параметрів та кінематичної схеми робота 6DoIt Mobile Robot Arm (6DMRA).

На вкладці знаходяться наступні елементи інтерфейсу:

- Алгоритм виконання лабораторної роботи «Order of the experiment» (Рис. 5.24, п.1).
- Вікно фіксації результатів виконання лабораторної роботи (Рис. 5.24, п.3).
- Панель керування роботом «Run the experiment» (Рис. 5.24, п.4).

Головною метою виконання лабораторної роботи є досягнення хватом об'єкта, що знаходиться перед роботом (червоного стержня). Шляхом включення в роботу серводвигунів ланок робота, за допомогою панелі керування об'єктом (Рис. 5.24 п.4), яка містить наступні елементи: повзунки для зміни кута повороту кожного окремого серводвигуна M1-M7 ($\theta_1 - \theta_7$), поле виводу координат x, y, z ($O_1 - O_6$), перемикач дозволу керування стендом (Run Experiment), кнопка оновлення положення робота (Update setpoint).

Слід поступово змінювати положення робота в просторі та відстежувати зміни користуючись вікном перегляду відео, що надходить з IP камери, в режимі реального часу.

Після досягнення хватом об'єкта необхідно:

- Записати дані положення схвату маніпулятора в поле O_1 («Coordinates of the grip $[x, y, z]$ »).
- Автоматично сформувати скріншот положення за допомогою кнопки «Take a snapshot».
- Відповісти на контрольне питання.

Введені дані та скріншот будуть перенесені у фінальний звіт, що формується автоматично в ході виконання лабораторної роботи. Після досягнення мети слід переходити до наступної вкладки - «Laboratory experiment #2».

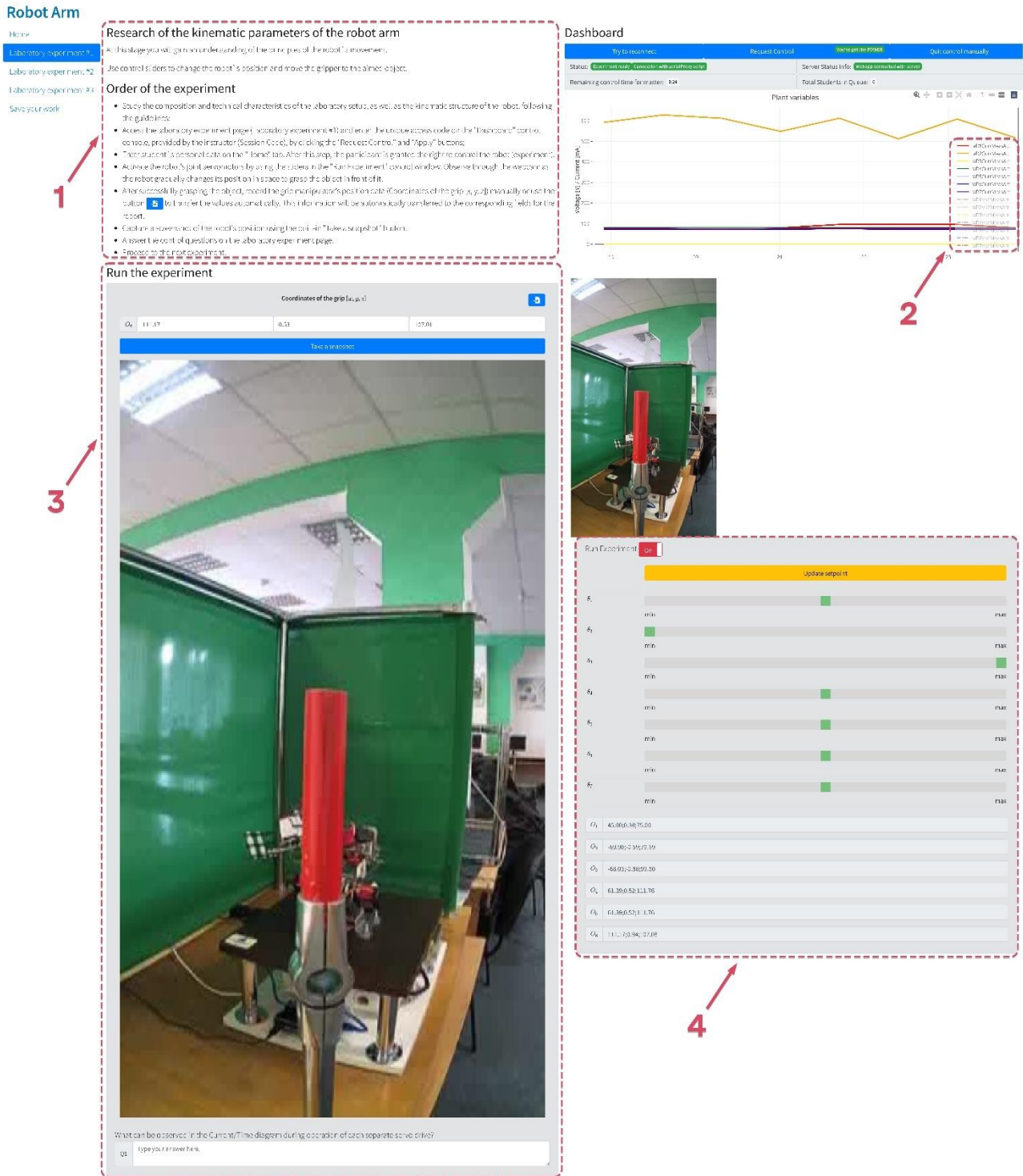


Рис. 5.24 Вкладка «Laboratory experiment #1» web-інтерфейсу керування «Robot Arm»

Вкладка «Laboratory experiment #2»:

Вкладка «Laboratory experiment #2» призначена для виконання другої лабораторної роботи, яка присвячена кінематичному аналізу роботи 6DoIt Mobile Robot Arm (6DMRA).

На вкладці знаходяться наступні елементи інтерфейсу:

- Алгоритм виконання лабораторної роботи «Order of the experiment» (Рис. 5.25, п.1).
- Комбіноване вікно керування та фіксації результатів виконання лабораторної роботи (Рис. 5.25, п.3).
- Панель керування роботом «Run the experiment» (Рис. 5.25, п.2).

Головною метою виконання даної лабораторної роботи є вирішення **прямой задачі кінематики** за допомогою метода **Денавіта-Хартенберга**. Докладний алгоритм виконання лабораторної роботи наведено у методичних вказівках.

Після успішного досягнення мети лабораторної роботи, а також заповнення всіх полів відповіді, слід переходити до наступної вкладки - «Laboratory experiment #3».

Розділ 5. Реалізація

Robot Arm

Home

Laboratory experiment #1

Laboratory experiment #2

Laboratory experiment #3

Save your work

The Denavit-Hartenberg parameters in robotics

In this experiment, the main goal is a study and use of the Denavit-Hartenberg parameters.

Quick reminder on the formulas from the methodical guidelines:

$$M_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \cos \alpha_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \cos \alpha_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Order of the experiment

- Study the composition and technical characteristics of the laboratory setup, as well as the kinematic structure of the robot, following the guidelines.
- Go to the laboratory experiment page (Laboratory experiment #2) and enter the unique access code on the "Dashboard" experiment control console, which was provided by the teacher (Session Code), by clicking the "Request Control" button and the "Apply" button.
- For consistent, consistent control of the "Robot" as a laboratory setup, the user is provided the right to control the robot (electronically).
- Set the position of the robot in the space of the working area by entering a bit any values of the angles, using the fields for entering the values of the "Angles, deg" window, taking into account the specified limitations on the working angles of the robot in the "Limit range, deg" field. To access the control window press the "Run experiment" button and access the position of the robot using the "Update position" button in set previous angles as a step and press the "Update position" button.
- During the set of the "Coordinates of the gripper" field, automatically transfer the results of the coordinates to the real-time window. The "Coordinates of the gripper" field.
- Get the coordinates of the robot by clicking the "Run experiment" panel. Calculate the transfer matrices according to the formulas given in the methodical guidelines, using the values of the obtained angles.
- Calculate the coordinates of the gripper, the matrix location in the coordinate system relative to the point O_0 .
- Manually enter the calculated gripper coordinates to the "Coordinates of the gripper" field from the "Coordinates of the gripper" field.
- Take a screenshot of the robot's position using the "Update position" button.
- Answer the control questions on the laboratory experiment page.
- Proceed to the next experiment.

Run the experiment

Angles, deg	Limit range, deg	Coordinates of the gripper (x, y, z)
θ_1 50	0 - 180	real O_0 1.117 0.81 107.27
θ_2 70	0 - 135	real O_0 1.12 1.82 107.1
θ_3 50	30 - 150	
θ_4 70	40 - 130	
θ_5 60	0 - 180	
θ_6 82	0 - 180	
θ_7 15	0 - 180	

Update position

What are the steps of the Denavit-Hartenberg method?

Type your answer here

Dashboard



Run Experiment on

Update position

Angle	Value	Unit
θ_1	107.27	deg
θ_2	107.1	deg
θ_3	107.1	deg
θ_4	107.1	deg
θ_5	107.1	deg
θ_6	107.1	deg
θ_7	107.1	deg

O_0 1.117, 0.81, 107.27

O_1 0.81, 1.82, 107.1

O_2 1.82, 1.82, 107.1

O_3 1.82, 1.82, 107.1

O_4 1.82, 1.82, 107.1

O_5 1.82, 1.82, 107.1

O_6 1.82, 1.82, 107.1

O_7 1.82, 1.82, 107.1

Рис. 5.25 Вкладка «Laboratory experiment #2» web-інтерфейсу керування «Robot Arm»

Вкладка «Laboratory experiment #3»:

Вкладка «Laboratory experiment #3» призначена для виконання третьої лабораторної роботи, яка присвячена кінематичному аналізу DMRA з метою вирішення зворотної задачі кінематики.

На вкладці знаходяться наступні елементи інтерфейсу:

- Алгоритм виконання лабораторної роботи «Order of the experiment» (Рис. 5.26, п.1).
- Комбіноване вікно керування та фіксації результатів виконання лабораторної роботи (Рис. 5.26, п.3).
- Панель керування роботом «Run the experiment» (Рис. 5.26 , п.2).

Головною метою виконання даної лабораторної роботи є вирішення **зворотної задачі кінематики** за допомогою метода **Денавіта-Хартенберга**.

Докладний алгоритм виконання лабораторної роботи наведено у методичних вказівках.

Після успішного виконання експерименту, та заповнення всіх полів відповіді, слід перейти на вкладку ««Save your work»».

Розділ 5. Реалізація

Robot Arm

Home

Laboratory experiment #1

Laboratory experiment #2

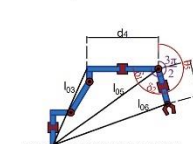
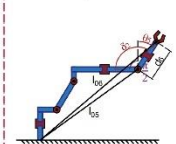
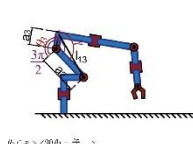
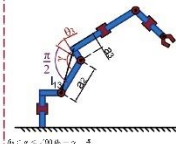
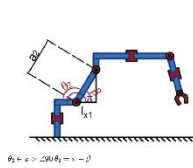
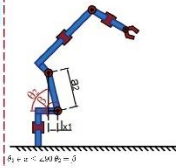
Laboratory experiment #3

Save your work

Use of trigonometry in robotics

At this stage you will learn to use position of the robot to get angular information on

Quick links on the formulas from the mechanical principles



Order of the experiment

- Study the composition and technical character sides of the laboratory setup as well as the kinematic structure of the robot, solving the given tasks.
- Go to the laboratory experiment page (Laboratory experiment #3) and enter the unique access code on the "Dashboard" experiment control console, which was provided to the teacher (Student Code), by clicking the "Access Control" button and the "Apply" button.
- On the student's screen, click on the "Home" tab. After this step, the control display will open the right console (two tabs: "Experiment" and "Object management").
- Using the object management sidebar, on the "Run Experiment" tab, set the free position of the work in the space of the working area, controlling the process through the screen. At the same time, you should have a password. The code then that is used and must be in a code to 1 of 90 degrees.
- Take a screenshot of the received manipulator configuration using the "Upload snapshot" button.
- Transfer the coordinates of the points from the "Run Experiment" window to the "Link coordinates" window by clicking the button "Copy" in the instantaneous values of the coordinates.
- Calculate the angles of movement of the corresponding links of the robot using mathematical methods.
- Insert the obtained results in the answer field "Angle finding".
- Answer the control questions on the laboratory experiment page.
- Go to the "Save work" page and generate an automatic report. Then save the report to your device.

Run the experiment

Coordinates of the links [x, y, z]			Angles, deg		
O_1	45.02	0.02	75.30	θ_1	50
O_2	-49.90	-0.06	75.09	θ_2	90
O_3	-38.03	-0.04	99.50	θ_3	50
O_4	11.33	-0.05	111.74	θ_4	50
O_5	11.39	0.05	111.74	θ_5	30
O_6	111.17	1.33	127.67	θ_6	30



What I want to understand: Please, add a note

Q1 type your text here

Dashboard



Update screenshot		
θ_1	45.02	75.30
θ_2	-49.90	75.09
θ_3	-38.03	99.50
θ_4	11.33	111.74
θ_5	11.39	111.74
θ_6	111.17	127.67

Рис. 5.26 Вкладка «Laboratory experiment #3» web-інтерфейсу керування «Robot Arm»

Вкладка «Save your work»:

Для генерації звіту слід натиснути на кнопку «Generate my report as PDF!» (Рис. 5.27, п.3). У фінальному звіті фіксується дата, час, а також код доступу користувача (Рис. 5.27, п.1).

Слід обов'язково звертати увагу на попередження щодо необхідності вимкнення всіх програмних засобів, які призначені для автоматичного блокування реклами. На випадок збою системи формування звіту в системі передбачений захист у вигляді можливості завантаження всіх введених даних у форматі .txt, а також скріншотів з камери, що демонструють положення робота (Рис. 5.22).

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

Розділ 5. Реалізація

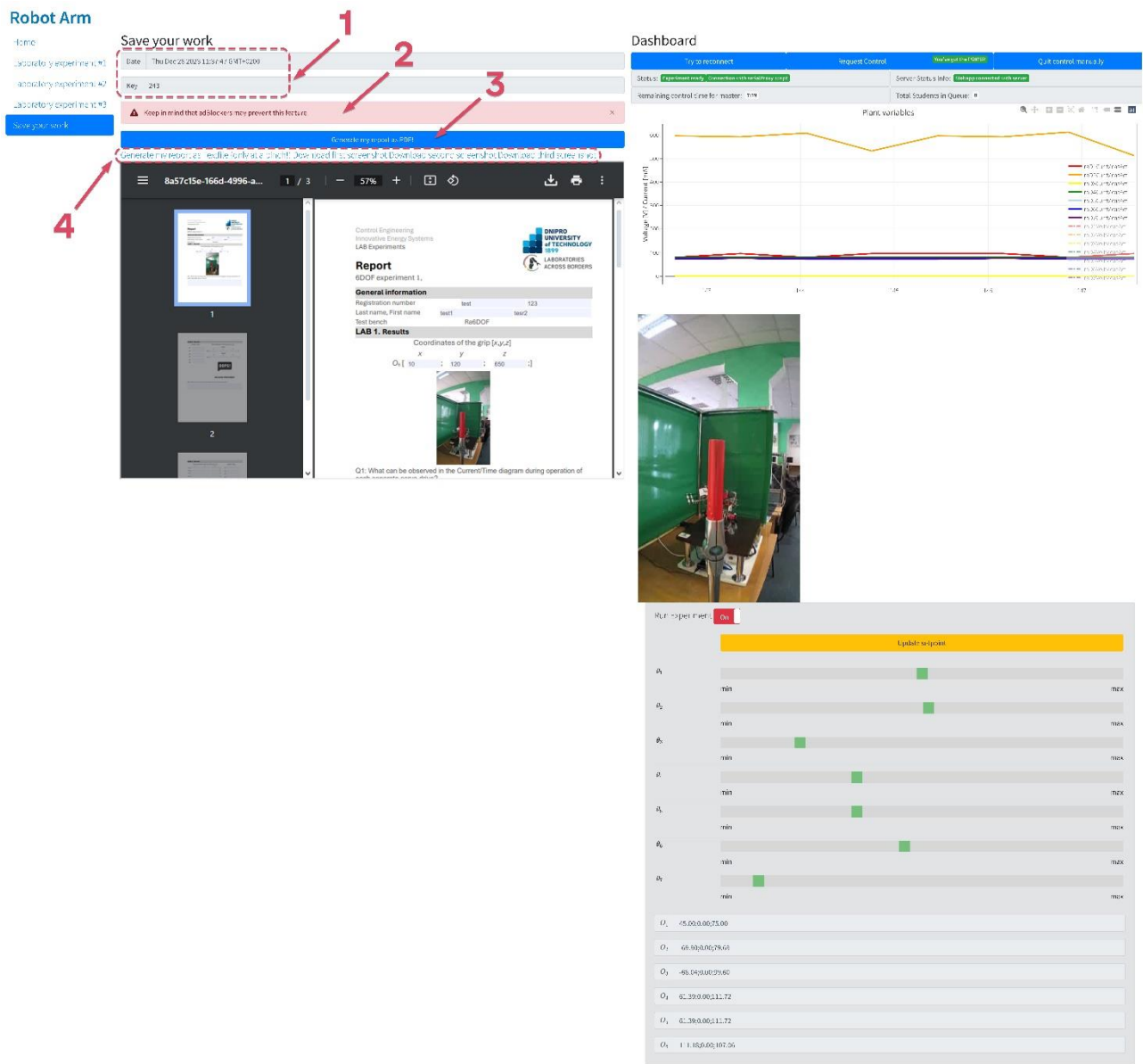


Рис. 5.27 Вкладка «Save your work» web-інтерфейсу керування «Robot Arm»

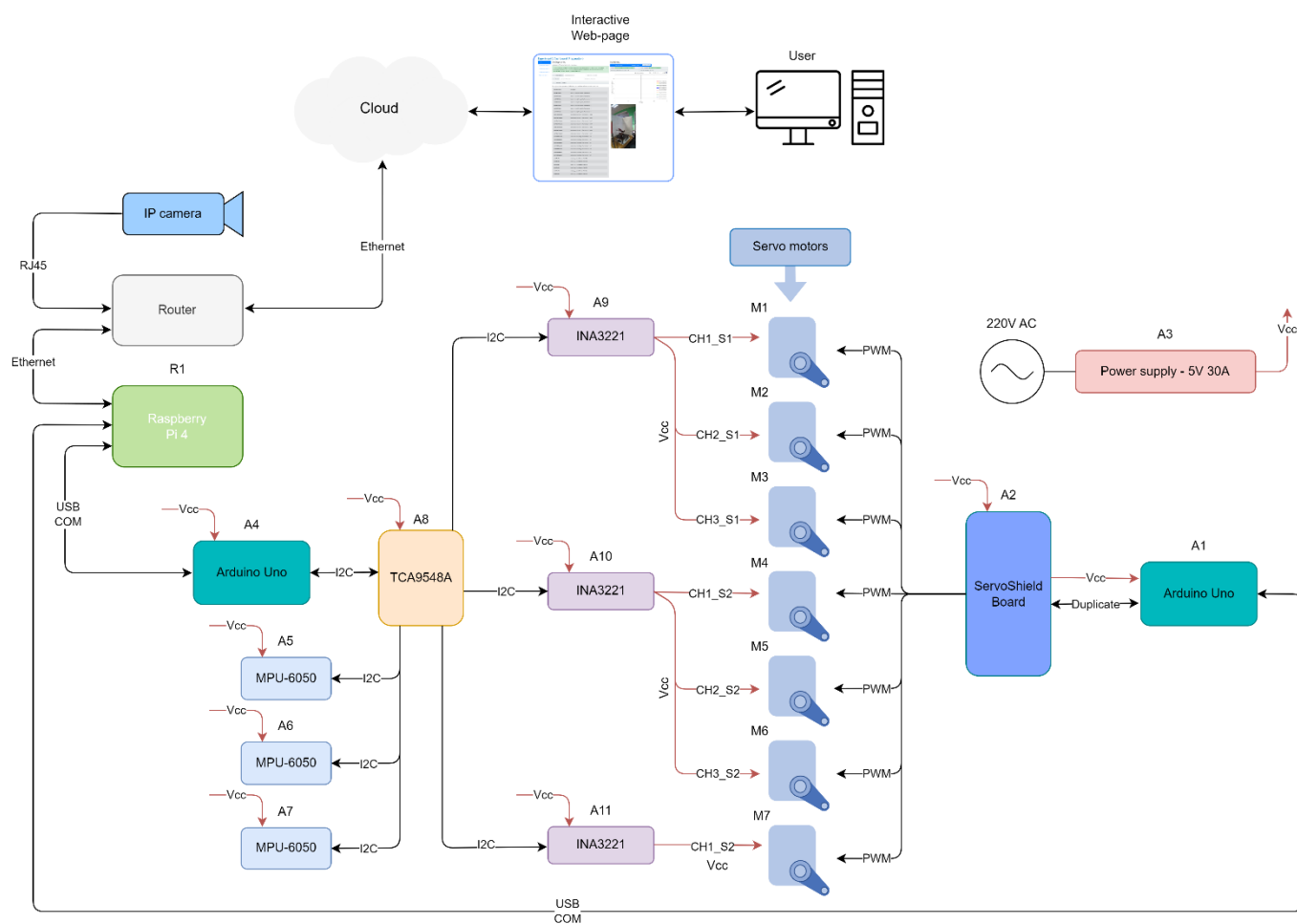


Рис. 5.28 Загальна структура стенду РА

6. Тестування на валідація

Тестування стенду «Robot Arm» 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 RA. Відкрита конструкція стенду забезпечила можливість легко вивчати будову робота маніпулятора, визначати довжини ланок та місце розташування двигунів безпосередньо біля стенду. Через розміщення компонентів схеми у монтажному коробі не вдається забезпечити візуальний доступ до системи керування та вимірювання знаходячись безпосередньо біля RA. Проте вичерпний опис складових частин робота, що представлений на сайті віддаленого експерименту, дозволяє комплексно дослідити це питання.

Завдяки зовнішній IP камері оператор може доволі легко визначити знаходження робота маніпулятора в просторі та виконати задачі лабораторних робіт, що містять завдання по досягненню сватом об'єкта, який розташований перед робочим органом RA. Обрані засоби освітлення забезпечують гарну видимість під час керування RA проте на металевій глянцевої поверхні робота утворюються бліки, у певних положеннях робочого органу. Даний факт не є критичним та може бути виправлений за рахунок встановленням додаткового розсіювача світла або зміною кольору робочого органу робота.

Обране обладнання продемонструвало свою надійність та точність в рамках циклічного випробування впродовж проведення воркшопів. Давачі INA3221 показали себе як надійний інструмент для отримання даних про струм та напругу в режимі реального часу.

Давачі положення MPU-6050 дозволяють отримувати дані про положення робота в просторі з не суттєвою похибкою. Проте слід зазначити, що правильне їх розміщення на корпусі RA та ретельне калібрування мають вирішальне значення в питанні отримання точних даних про положення. Для під'єднання великої кількості приладів, що передають дані за протоколом I2C необхідно забезпечити можливість їх

одночасного під'єднання до системи керування. Восьми-канальний комутатор I2C на базі TCA9548A дозволяє виконувати одночасне зчитування даних з усіх встановлених датчиків.

Обрана система керування на базі Arduino Uno дозволяє успішно передавати дані, що були отримані з встановлених датчиків, 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 двох плат Arduino через COM порт, а також обмеженнями обраного засобу побудови графіків.

Обрані сервоприводи DS3218 продемонстрували стабільну та надійну роботу в умовах довготривалих тестувань. Проте слід зазначити, що не досконала заводська система кріплення ланок робочого органу RA, що передбачує наявність пластикових фланців, в парі з потужними сервоприводами DS3218MG-180 - може приводити до псування пластикового посадочного місця, під вал двигуна, та виходу ланки з ладу. Тому при використанні вказаних двигунів слід передбачати лише алюмінієві або металеві фланці.

Плата розширення Servo Shield Board дозволила легко під'єднати велику кількість серводвигунів до системи керування Arduino та виконувати спрощене керування ними засобами стандартних бібліотек Arduino IDE.

Надійне живлення всіх вказаних ланок виконується засобами потужного блоку живлення з пасивною системою охолодження. Під час випробувань роботи RA не було виявлено жодних недоліків.

Обрані технічні рішення при створенні RA цілком відповідають всім зазначеним раніше вимогам та дозволяють швидко підлаштовуватись під навчальний 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 «майстра» користувача на керування експериментом успішно відкликаються, і передаються наступному користувачу у черзі, який стає «майстром» користувачем. Якщо відпрацювання експерименту було розпочато в момент зміни «майстра» 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 «майстру» 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. Користувач може з високою точністю формувати завдання на траєкторію руху РА користуючись відповідними повзунками. Діапазон підібрано таким чином, щоб уникнути завдання критичних граничних значень положення кожної з ланок РА з метою уникнення аварійної ситуації.

Форма отриманих сигналів має очікувану форму та забезпечує достатній ступінь дискретизації для виконання точних розрахунків положення робочого органу РА в просторі. Проте через велику кількість сигналів, що одночасно зчитуються та передаються на web-сторінку, існує певна затримка у їх відображенні. Що обмовлена

обраною системою керування, каналом зв'язку та обмеженнями обраного програмного засобу побудови графіків.

Тестування процесу формування звіту показало свою ефективність в задачах збереження персональних даних клієнта, відповідей на контрольні питання, та таблиць з даними кожної окремої лабораторної роботи.

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 RA. Після відновлення живлення RA перейде в режим калібрування та займе початкове вихідне положення. Після чого стенд буде готовий до продовження роботи без додаткових налаштувань.

Вимоги щодо необслугованої або малообслуговуваної експлуатації стенда виконуються за рахунок відсутності вузлів та агрегатів, що потребують втручання людини для поновлення експерименту.

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

Розділ 6. Тестування та валідація

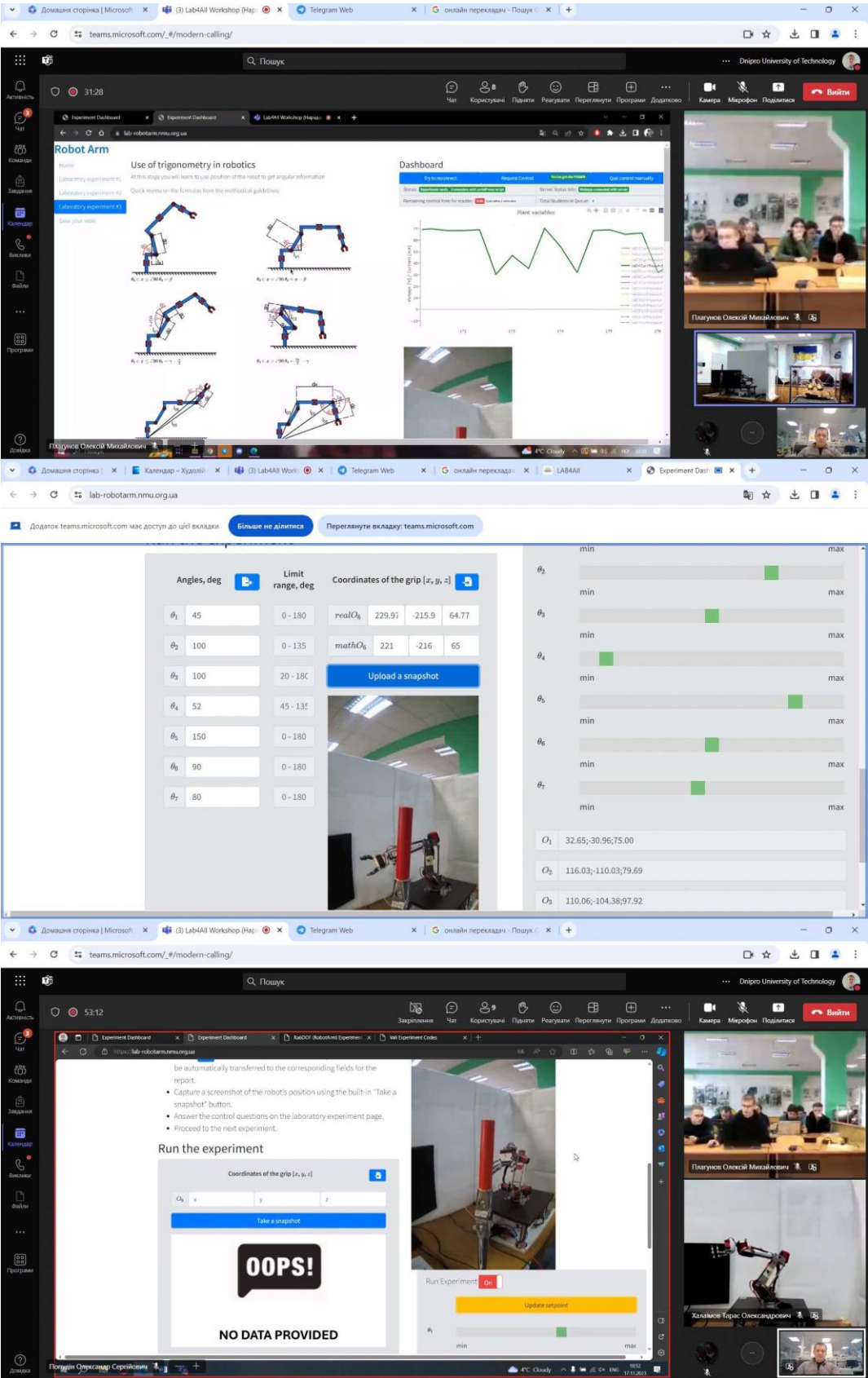


Рис. 6.1

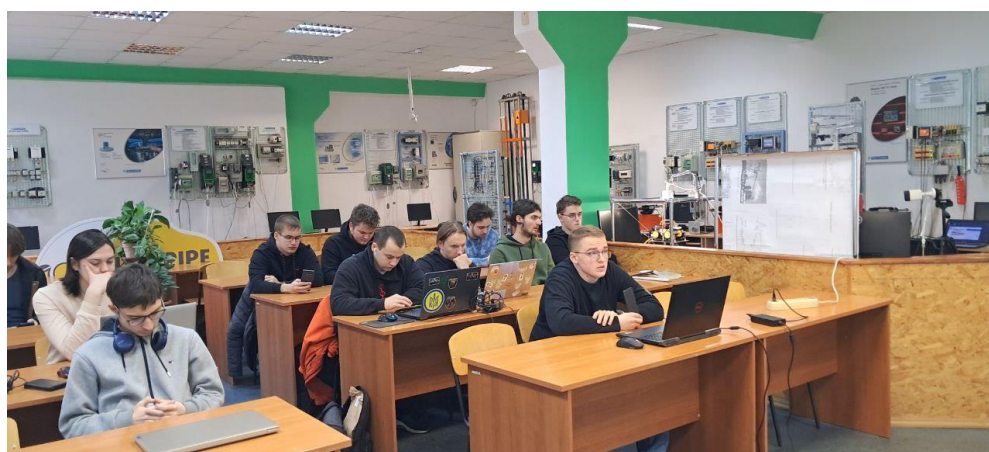
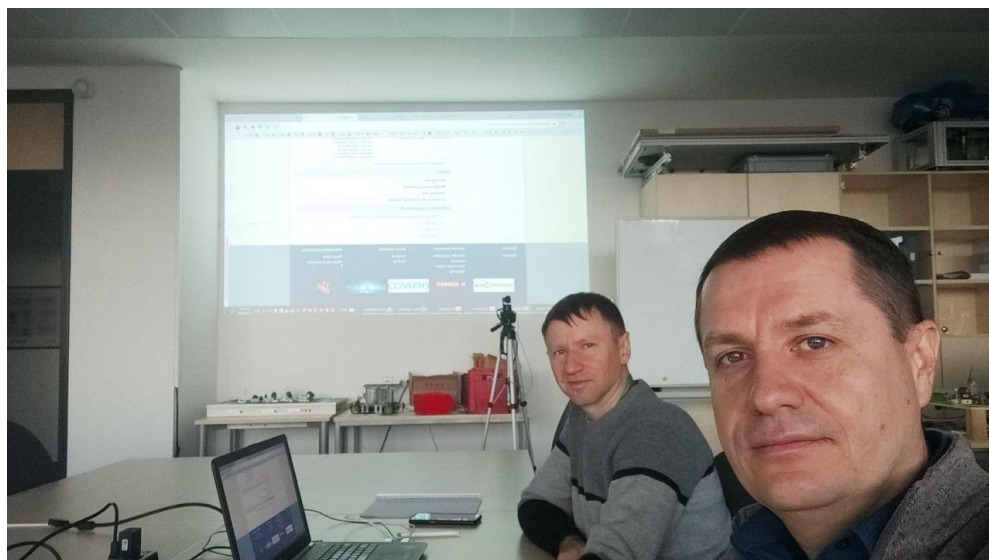


Рис. 6.2 Воркшоп Lab4All між «Reutlingen University», Germany та Dnipro University of Technology, Ukraine.

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

положення. Доцільно допускати тільки не значну ступінь обслуговування, яке не містить щоденний характер.

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 створення лабораторного стенду з віддаленим керуванням «Robot Arm», є реалізація можливості дослідження кінематики руху робота маніпулятора на прикладі зменшеної версії промислового роботу з 6 ступенями свободи - 6DOF DoIt Mobile Robot Arm (DMRA), в задачах мехатроніки. З можливістю оцінки перехідних процесів, що виникають у безщіткових двигунах постійного струму. 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-маніпулятора RA, та відстеження координат його положення в просторі 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. 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. Висновки та перспективи

В даному розділі представлені важливі моменти обраного рішення, а також досягнуті результати під час побудови стенду «Robot Arm». 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 «Robot Arm». Дослідження кінематики руху робота маніпулятора на прикладі зменшеної версії промислового роботу з 6 ступенями свободи - 6DOF DoIt Mobile Robot Arm (DMRA), в задачах мехатроніки. З можливістю оцінки перехідних процесів, що виникають у безщіткових двигунах постійного струму.

Стенд «Robot Arm» було побудовано на основі існуючої конструкції DMRA, що функціонує на базі платформи Arduino. Для отримання даних в режимі реального часу існуючий DMRA було модифіковано за рахунок додавання відповідних давачів: струму/напруги, положення. 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 «Robot Arm» 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 кращого відображення ходу виконання експерименту слід виконати вдосконалення освітлення та замінити фон та більш контрастний.

Для уникнення проблем з налаштуванням положення камери в просторі після випадкових переміщень штативу – слід змінити підхід до розміщення камери.

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.

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/>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
2. Trossen Robotics, "WidowX 250 Robot Arm," [Online]. Available: <https://www.trossenrobotics.com/widowx-250>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
3. Amazon, "LewanSoul Robotic Arm Kit for Arduino, with Software and Tutorial," [Online]. Available: <https://www.amazon.com/LewanSoul-Robotic-Arduino-Software-Tutorial/dp/B074T6DPKX>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
4. Abra Electronics, "6DOF Metal Robotic Arm," [Online]. Available: <https://abra-electronics.com/robotics/robot-claws-grippers/ak-arm-6dof-metal-robotic-arm.html>. [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. Arduino.ua, "Servomotor DS3218MG 180° Metal Gear 20kg," [Online]. Available: <https://arduino.ua/prod5842-servoprivid-ds3218mg-180-metal-redyktor-20kg>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
9. Arduino.ua, "Aluminum Mounting Hub for Servomotors MG995, MG996, MG996R, MG945, S3003, TR213," [Online]. Available: <https://arduino.ua/prod817-aluminievaya-montajnaya-vtylka-dlya-servodvigatelei-mg995-mg996-mg996r-mg945-s3003-tr213>. [Accessed: Jul. 4, 2024].

10. 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].
11. mbed, "INA3221.h Library," [Online]. Available: <https://os.mbed.com/users/anti007/code/INA3221/file/156866acc5e4/INA3221.h/>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
12. Arduino.ua, "Digital Three-Channel Current and Voltage Sensor INA3221 with I2C Bus," [Online]. Available: <https://arduino.ua/prod3658-cifrovoy-trehkanalnyi-datchik-toka-i-napryazheniya-na-ina3221-s-shinoy-i2c>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
13. Arduino.ua, "Accelerometer and Gyroscope Module MPU-6050 6DOF," [Online]. Available: <https://arduino.ua/prod512-akselerometr-i-giroskop-mpu-6050-modul-6dof>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
14. Arduino.ua, "I2C 8-Channel Multiplexer TCA9548A," [Online]. Available: <https://arduino.ua/prod2155-i2c-kommutator-8-kanalnyi-na-tca9548a>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
15. RCS Components, "Built-in Power Supply 150W 5V OV-R5-30A," [Online]. Available: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/blok-zhyvlennia-shcho-vbudovuietsia-150w-5v-ov-r5-30a_184171.html. [Accessed: Jul. 4, 2024].
16. 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].
17. PrintMarket, "Press Wall 2x2 m." [Online]. Available: <https://www.printmarket.ua/ua/press-voll-press-wall-2x2-m.htm>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
18. 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].
19. Vflatworld, "Light Cone" [Online]. Available: <https://vflatworld.com/pages/light-cone-karl-taylor> [Accessed: Jul. 4, 2024].

Список використаних джерел

20. 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].
21. "PM2 Process Management Quick Start," [Online]. Available:
<https://pm2.keymetrics.io/docs/usage/quick-start/>. [Accessed: Jul. 4, 2024].
22. Department of Electric drive, "Robot Arm". [Online]. Available:
<https://elprivod.nmu.org.ua/ua/RA/index.php>. [Accessed: Jul. 4, 2024].