

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики

«До захисту допущено»  
Завідувачка кафедри

\_\_\_\_\_ Лариса ОДНОДВОРЕЦЬ  
\_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня магістр**

зі спеціальності 171 Електроніка освітньо-професійної програми «Електронні інформаційні системи»

на тему: **ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКУ (САПР) ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ**

Здобувача (ки) групи ЕП.м-22 Ярмоленка Володимира Сергійовича  
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ Володимир Ярмоленко  
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник ст.викл. канд. фіз.-мат. наук, Костянтин Тищенко \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

**Суми – 2023**

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики  
Спеціальність 171 Електроніка, освітньо-професійна програма  
«Електронні інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувачка кафедри

\_\_\_\_\_ Лариса ОДНОДВОРЕЦЬ

06 листопада 2023 р.

**ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА  
Ярмоленка Володимира Сергійовича**

1. Тема роботи: Використання сучасних систем автоматизованого проектування і розрахунку (САПР) для моделювання роботи електронних пристроїв

затверджена наказом СумДУ від « 10 » листопада 2023 р., № 1260-VI

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 12.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи (актуальність, мета): В останні десятиліття, інженерна сфера зазнала значних змін, викликаних стрімким розвитком технологій та появою нових методик проектування. Сучасні системи автоматизованого проектування (САПР) стали важливим елементом у процесі розробки електронних пристроїв, пропонуючи не лише зручність та ефективність, але й забезпечуючи високу точність і надійність у моделюванні їх роботи. Традиційні САПР забезпечують розробку якнайточніших моделей електронних пристроїв, але досить складні для опанування і мають дороговартісну ліцензію. Останнім часом почали з'являтися безкоштовні онлайн симулятори електронних схем, які більшою мірою створюються з освітньою метою. Такі САПР хоч і поступаються за функціоналом традиційним, проте набагато легші в опануванні.

Метою роботи є аналіз різноманітних підходів до моделювання, оцінці їх ефективності, а також виявленні можливостей для подальшого вдосконалення цих систем; Розробка в онлайн середовищі Wokwi електронного пристрою на базі мікроконтролера ESP32 та датчиків оточуючого середовища.

4. Зміст текстової частини роботи (перелік питань, які необхідно розробити):

1. Огляд та аналіз можливостей сучасних систем автоматизованого проектування;
2. Порівняння традиційних та онлайн САПР;
3. Проектування електронної системи керування в САПР Wokwi;

#### 4. Розробка програмного забезпечення електронної системи на базі

мікроконтролера;

#### 5. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу для презентації:

Слайди № 1-2 – Загальна інформація

Слайди № 3-6 – Теоретичні засади моделювання електричних кіл

Слайди № 7-9 – Системи автоматизованого проектування в електроніці

Слайди № 10-11 – Використання онлайн САПР Wokwi для моделювання електронних пристроїв (Методика експерименту)

Слайди № 12-16 – Експериментальні результати створення схеми електронного пристрою та програмного забезпечення для мікроконтролера

Слайд № 17 – Висновки

6. Дата видачі індивідуального завдання: 06.11.2023 р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка про стан виконання роботи
1	Аналіз літературних даних	до 13.11.2023 р.	виконано
2	Освоєння методики проведення розрахунків і моделювання.	до 27.11.2023 р.	виконано
3		до 14.12.2021 р.	виконано
4	Підготовка тексту магістерської роботи.	до 12.12.2023 р.	виконано
5	Попередній захист роботи.	13.12.2023 р., 13 <sup>00</sup> (онлайн)	виконано
6	Захист роботи в екзаменаційній комісії.	19.12.2023 р. – 20.12.2023 р., 11 <sup>30</sup> (онлайн)	

Здобувач (ка)

\_\_\_\_\_ Володимир ЯРМОЛЕНКО

Керівник

\_\_\_\_\_ Костянтин ТИЩЕНКО

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота викладена на 44 сторінках, зокрема містить 20 рисунків, 1 таблицю, список використаних джерел із 20 найменувань.

Актуальність теми полягає у зростаючому використанні онлайн САПР для моделювання електронних пристроїв, що забезпечує нові можливості для освіти та професійного розвитку. Сучасні електронні пристрої є досить складними за своєю конструкцією, і для їх проєктування доцільно користуватись спеціалізованими засобами моделювання, які дозволяють перевірити та проаналізувати їх роботу без реалізації фізичного прототипу. За такого підходу забезпечується гнучкість розробки, покращення характеристик на етапі проєктування та виявлення можливих проблем. Також розробка з використанням САПР може доповнюватись елементами інтелектуального аналізу за допомогою нейромереж та штучного інтелекту.

Мета кваліфікаційної роботи магістра полягає у проведенні аналітичного огляду сучасних систем автоматизованого проєктування і розрахунку (САПР) та їх використання для моделювання роботи електронних пристроїв на прикладі онлайн САПР Wokwi; розробці схеми та програмного забезпечення приладу на базі мікроконтролера ESP32 в онлайн САПР Wokwi.

У роботі проведено огляд літератури щодо систем автоматизованого проєктування. Розглянуто сучасний стан та перспективи розвитку САПР для моделювання роботи електронних пристроїв. Проведено огляд та порівняння характеристик сучасних традиційних (MultiSim, Proteus Design Suite) та онлайн (Tinkercad, Wokwi) САПР для розробки та моделювання роботи електронних пристроїв. Установлено, що онлайн САПР, такі як Wokwi, ефективно підтримують навчальний процес та інноваційне проєктування, надаючи гнучкість і доступність для користувачів. Розроблено принципову схему і програмне забезпечення електронного пристрою для контролю параметрів клімату оранжереї та проведено моделювання його роботи за допомогою онлайн САПР Wokwi.

Ключові слова: САПР, онлайн-САПР, моделювання, Wokwi, ESP32

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКУ (САПР) .....	7
1.1. Основи та еволюція систем автоматизованого проектування і розрахунку (САПР).....	7
1.1.1. Мета та значення САПР .....	7
1.1.2. Історичний огляд розвитку САПР.....	8
1.2. Аналіз традиційних САПР .....	13
1.2.1. Multisim: Опис і функції, приклади використання .....	14
1.2.2. Proteus Design Suite: Характеристики та можливості, застосування для моделювання та тестування .....	16
1.3. Огляд онлайн САПР .....	17
1.3.1. Tinkercad: Особливості та інтерфейс, переваги для початківців та освітніх цілей .....	17
1.3.2. Wokwi: Опис та функціонал, можливості для віртуального моделювання .....	20
1.4. Порівняльний аналіз традиційних та онлайн САПР .....	22
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ .....	24
2.1. Розробка структури системи керування параметрами оточуючого середовища .....	24
2.2. Апаратне забезпечення для системи автоматизованого керування параметрами мікроклімату замкнутої системи .....	26
2.3. Проектування електронної системи керування в САПР Wokwi .....	32
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ В САПР WOKWI.....	36
ВИСНОВКИ.....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	43

## ВСТУП

Кваліфікаційна робота магістра присвячена дослідженню в області використання сучасних систем автоматизованого проектування і розрахунку (САПР) для моделювання роботи електронних пристроїв. В останні десятиліття, інженерна сфера зазнала значних змін, викликаних стрімким розвитком технологій та появою нових методик проектування. Сучасні САПР стали важливим елементом у процесі розробки електронних пристроїв, пропонуючи не лише зручність та ефективність, але й забезпечуючи високу точність і надійність у моделюванні.

Актуальність даної роботи впливає з важливості оптимізації процесів проектування в умовах постійно зростаючих вимог до якості, швидкості виготовлення та інноваційності електронних пристроїв. З використанням САПР, інженери мають змогу ефективніше проектувати, аналізувати та тестувати пристрої, що сприяє значному скороченню часу виведення продукту на ринок та підвищенню його конкурентоспроможності.

Мета цієї роботи полягає у дослідженні потенціалу сучасних САПР у контексті моделювання електронних пристроїв. Робота зосереджена на аналізі різних підходів до моделювання, оцінці їх ефективності, а також виявленні можливостей для подальшого вдосконалення цих систем. Увага приділяється також сучасним тенденціям у галузі, включаючи інтеграцію з Інтернетом речей, використання штучного інтелекту для оптимізації проектних рішень та розвиток методів віртуальної та доповненої реальності.

Дослідження, представлене у даній роботі, спрямоване на визначення характеристик та сукупності параметрів для вибору САПР для проектування електронних пристроїв і моделювання їх роботи.

## **РОЗДІЛ 1.**

### **ОГЛЯД СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКУ (САПР)**

#### **1.1. Основи та еволюція систем автоматизованого проектування і розрахунку (САПР)**

##### **1.1.1. Мета та значення САПР**

Відповідно до ДСТУ 2226-93 «Автоматизовані системи. Терміни та визначення» – система автоматизованого проектування (САПР) – це автоматизована система, яка призначена для автоматизації технологічного процесу проектування виробу, кінцевим результатом якого є комплект проектно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкта проектування [1].

Системи автоматизованого проектування і розрахунку (САПР) відіграють критичну роль у сучасному інженерному дизайні, особливо в контексті розробки електронних пристроїв. Їх вплив охоплює не лише поліпшення точності проектів, але й забезпечення ефективності та інноваційності процесів розробки, водночас сприяючи скороченню часу та витрат на виробництво.

З моменту свого зародження у середині 20-го століття, САПР зазнали значних змін, перетворившись з простих інструментів на комплексні багатофункціональні системи. Ця еволюція була підсилена рядом технологічних інновацій, що сприяли розширенню можливостей та функціоналу САПР. Сучасні системи САПР включають в себе складні алгоритми, що дозволяють оптимізувати дизайн, виявляти та усувати потенційні помилки на ранніх стадіях проектування, тим самим підвищуючи якість та надійність кінцевого продукту [2].

САПР відіграють ключову роль у різноманітних галузях інженерії, зокрема у розробці електронних систем. Їх використання значно спрощує

процеси розробки, від планування до тестування, дозволяючи інженерам швидко адаптуватися до нових вимог і викликів. Особливо це стає актуальним у світлі постійної еволюції технологій та зростаючих вимог до інноваційності продуктів.

Важливу роль відіграють САПР також у навчальному процесі, зокрема у підготовці майбутніх інженерів. Студенти, які використовують САПР у своєму навчанні, мають можливість розвивати практичні навички та глибше розуміння процесів проектування та розробки. Це сприяє кращій підготовці кваліфікованих фахівців, які здатні впоратися з викликами сучасної інженерії [1, 2].

З огляду на широкий спектр застосувань, САПР виявилися незамінними в багатьох секторах, починаючи від промислового дизайну і закінчуючи високоточним інженерним моделюванням. Прогрес у цій сфері, безумовно, триватиме, з особливим акцентом на інтеграцію з новітніми технологіями, такими як штучний інтелект та Інтернет речей, що відкриває нові горизонти для розширення можливостей САПР та їх впливу на інженерію майбутнього.

### **1.1.2. Історичний огляд розвитку САПР**

У ранній період розвитку систем автоматизованого проектування і розрахунку (САПР), що охоплює 1950-ті та 1960-ті роки, відбулися значні зміни у сфері інженерії та дизайну, що поклали основу для сучасних технологій проектування [2].

Перші системи САПР були розроблені з метою автоматизації та оптимізації трудомістких процесів проектування, особливо у таких галузях, як авіаційна та автомобільна промисловість. Ці системи, хоча й були примітивними у порівнянні з сучасними стандартами, відіграли важливу роль у розвитку автоматизованого проектування.

Першою такою системою вважається DAC-1, розроблена Патріком Ганратті у Дженерал Електрик в 1961 році. А однією з найвідоміших ранніх



САПР є «Sketchpad», розроблена Іваном Сазерлендом в МІТ у 1963 році [3]. Її можна вважати першою інтерактивною графічною системою, що дозволяла користувачам малювати на комп'ютерному екрані за допомогою світлового пера. Ця система знаменувала прогрес у графічному інтерфейсі користувача та вплинула на подальший розвиток графічних систем в інженерії.



Рисунок. 1.1 – Програма DAC-1 розроблена П. Ганратті у 1961 р.[4]



Рисунок. 1.2 – САПР Sketchpad розроблена І. Сазерлендом у 1963 р.[5]

Ранні САПР характеризувалися обмеженою функціональністю та в основному зосереджувалися на простих графічних операціях. Проте, їхній розвиток заклав основу для подальшої автоматизації проектування, демонструючи потенціал комп'ютерних технологій у цій сфері.

Ці ранні розробки відіграли ключову роль у формуванні основ сучасних

САПР. Вони не тільки сприяли поліпшенню проектних процесів, але й підштовхнули до подальшої інтеграції комп'ютерних технологій у проектування, що зробило можливим створення складніших та функціональних систем в майбутньому [3].

У 1970-ті роки з появою персональних комп'ютерів розпочався новий етап у розвитку САПР. Це дозволило зробити системи САПР доступнішими для широкого кола інженерів та дизайнерів, розширюючи їхні можливості та застосування.

В 1980-ті роки відбувся значний прогрес у розвитку графічних інтерфейсів користувача, що дозволило створювати більш складні та деталізовані проекти. Розвиток графічних можливостей САПР сприяв появі більш інтуїтивно зрозумілих та користувацьких інтерфейсів [1–3].

Прикладами САПР цього періоду є:

- AutoCAD - Однією з найвідоміших систем САПР цього періоду є AutoCAD, який був випущений у 1982 році. AutoCAD відіграв ключову роль у популяризації САПР серед інженерів і архітекторів, пропонуючи широкий спектр інструментів для 2D та 3D проектування [6].

- CATIA - Ще одна важлива система цього періоду - CATIA, розроблена французькою компанією Dassault Systèmes, була однією з перших, хто пропонував 3D моделювання та мультиплатформну інтеграцію.

- OrCAD - розроблена компанією Cadence Design Systems у 1985 році, стала важливою у сфері електронного дизайну САПР, що спеціалізується на створенні схем і проектуванні друкованих плат (PCB) та відома своїм інтуїтивним інтерфейсом та потужними інструментами для електричного моделювання [7].

Розвиток та розширення САПР у цей період мав значний вплив на інженерію та дизайн. Поява потужних і доступних інструментів дозволила інженерам та дизайнерам працювати більш ефективно, розширюючи межі можливого в проектуванні. Вони допомагали скоротити час розробки продуктів, підвищити точність дизайну і полегшити процес внесення змін у

проекти. Саме тоді були закладені основи для сучасних САПР. Розширення можливостей САПР, їх доступність та інтеграція з різними технологіями сформували основу для подальшого розвитку цих систем, що продовжується і донині. Цей етап у розвитку САПР був ключовим для становлення цих систем як необхідного інструменту в інженерії та дизайні, покладаючи основу для їх широкого застосування в різноманітних галузях промисловості [2].

1990-ті роки стали переломним моментом у розвитку САПР, ознаменовані значним прогресом у їх інтеграції з іншими інженерними та дизайнерськими програмами. Цей період був відзначений зростанням інтеграції САПР із системами управління життєвим циклом продукту (PLM) та системами управління документацією, що значно розширило можливості САПР та сприяло їх застосуванню в більш широкому спектрі проектних завдань.

Кінець 1990-х і початок 2000-х років був ознаменований стрімким розвитком 3D моделювання. Це дозволило САПР відійти від традиційного 2D дизайну і перейти до створення більш складних, тривимірних моделей, які забезпечували краще візуальне представлення об'єктів і покращену точність проектування [1, 2].

Визначними САПР цього періоду є:

- SolidWorks - Запущений у 1995 році, SolidWorks став одним з найпопулярніших інструментів для 3D CAD моделювання, зокрема завдяки своїй користувацькій доступності та широкому функціоналу.

- Pro/ENGINEER (згодом перейменованій у PTC Creo) - Ця САПР-система, випущена у 1987 році, відзначилася особливою інновацією у 1990-х роках, пропонуючи параметричне 3D моделювання та ряд інших передових функцій.

Цей період був характерний для зміцнення позицій САПР у якості невід'ємного інструменту в інженерній практиці та дизайні. Розвиток 3D моделювання значно підвищив ефективність проектування, дозволяючи створювати більш деталізовані та функціональні моделі. Інтеграція з іншими

програмами та перехід до 3D моделювання відкрили нові можливості для більш ефективного і точного проектування. Розвиток САПР протягом 1990-х - 2000-х років був ключовим у формуванні основ для сучасних високоефективних інструментів проектування.

Сучасна ера розвитку САПР, що почалася у 2010-ті роки, характеризується впровадженням хмарних технологій, які забезпечили нові можливості для розробки та тестування електронних пристроїв. Хмарні платформи, такі як Autodesk Fusion 360, дозволили розробникам працювати над проектами в реальному часі, незалежно від їх географічного розташування. Ця інтеграція сприяла зростанню гнучкості та доступності в проектуванні.

Інтеграція САПР з елементами штучного інтелекту дозволяє автоматизувати та оптимізувати проектні рішення. Сучасні системи, такі як Autodesk's generative design, використовують ШІ для створення ефективних дизайн-рішень, що значно збільшує продуктивність та інноваційність у розробці електронних пристроїв [8].

Прикладами сучасних САПР є:

- Altium Designer - популярний інструмент для розробки друкованих плат (PCB), який пропонує інтегровані можливості для схемотехнічного проектування та 3D моделювання.

- Eagle (Autodesk Eagle) - широко використовується для розробки схем і PCB, пропонуючи комплексні рішення для складних проектів.

- Multisim - розроблений компанією National Instruments, Multisim є потужним інструментом для симуляції та аналізу електронних схем. Він надає інженерам можливість точно моделювати поведінку схем перед їх фізичним виготовленням, сприяючи ефективному проектуванню та тестуванню [9].

Сучасні САПР суттєво вплинули на індустрію електроніки, підвищуючи швидкість та точність проектування. Вони відкрили шлях для більш інноваційних підходів у розробці електронних пристроїв, забезпечуючи водночас вищу ефективність та гнучкість у робочих процесах.

Сучасна ера є визначальною у розвитку САПР для електронних пристроїв, підкреслюючи важливість інноваційних технологій та підходів у проектуванні. Інтеграція з хмарними платформами, штучним інтелектом та IoT розширила можливості САПР, забезпечуючи нові горизонти для розробки сучасних електронних пристроїв. Цей період демонструє важливість постійного розвитку та адаптації інструментів проектування до змінюваних потреб і викликів сучасної електронної індустрії.

## **1.2. Аналіз традиційних САПР**

Традиційні системи автоматизованого проектування і розрахунку (САПР) відіграють фундаментальну роль у процесі розробки та моделювання електронних пристроїв. Вони надають інженерам необхідні інструменти для точного проектування, аналізу та симуляції різноманітних електронних систем.

Традиційні САПР характеризуються рядом особливостей:

- визначні функціональні можливості - зазвичай включають комплексні інструменти для розробки схем, 3D моделювання, а також симуляції електронних компонентів і систем.

- локальне встановлення - програмне забезпечення традиційно встановлюється на персональних комп'ютерах користувачів.

- високий рівень надійності - завдяки довгому періоду використання, ці системи відомі своєю надійністю і стабільністю.

Прикладами таких САПР є:

1. Multisim від National Instruments. Multisim є потужним інструментом для проектування та аналізу електронних схем. Його можливості охоплюють симуляцію цифрових та аналогових схем, а також інструменти для аналізу частотних характеристик, шумів та інших критичних параметрів.

2. Proteus Design Suite від Labcenter Electronics. Proteus поєднує в собі потужні інструменти для моделювання та автоматизованого проектування

друкованих плат. Особливо відомий завдяки своїм функціям симуляції та зручному інтерфейсу.

### 1.2.1. Multisim: Опис і функції, приклади використання

Multisim (рис. 1.3), розроблена компанією National Instruments, представляє собою вискоєфективну систему автоматизованого проектування та розрахунку (САПР), яка знайшла широке застосування у сфері електронного проектування. Ця система підтримується на операційних системах Windows та macOS, що робить її доступною для широкого кола користувачів. Головною особливістю Multisim є її простий та інтуїтивний інтерфейс, який сприяє легкому освоєнню програми навіть для початківців у галузі електронного проектування.

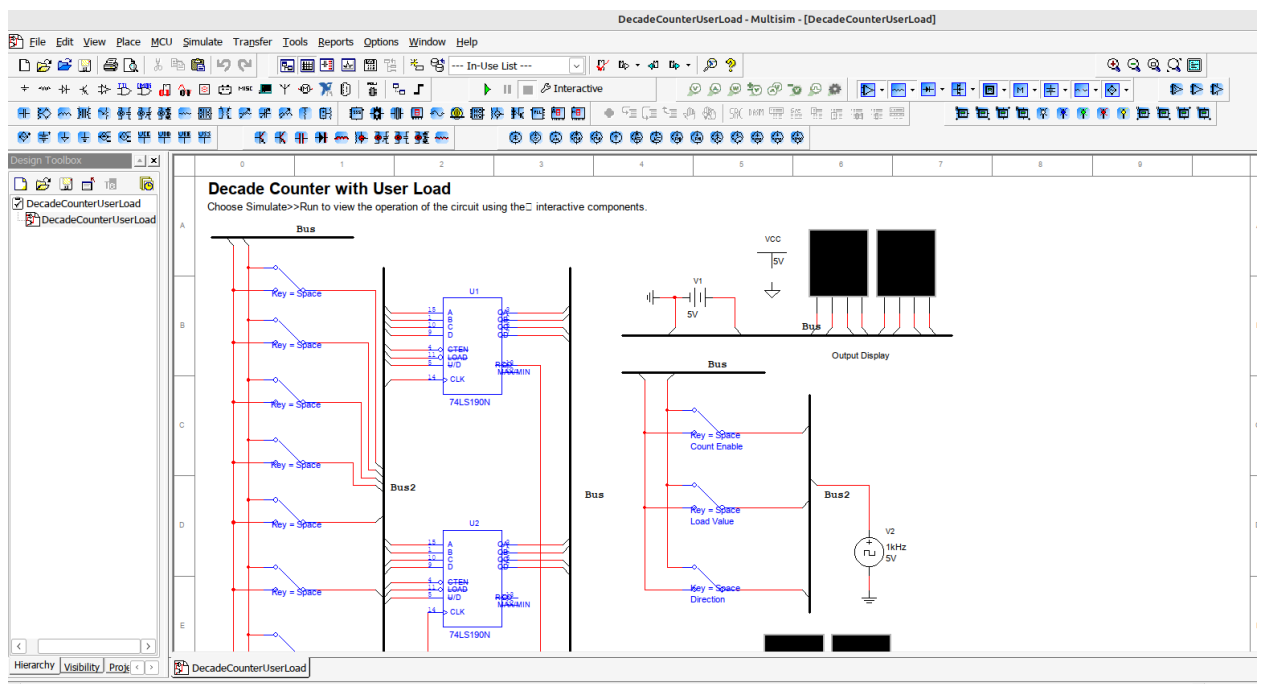


Рисунок 1.3 – Вікно програми Multisim [10]

Однією з ключових переваг Multisim є її широкий спектр компонентів, представлених у вигляді блоків, які можна легко з'єднувати між собою за допомогою проводів. Ця функція забезпечує користувачам гнучкість у створенні електронних схем різних типів, включаючи аналогові, цифрові та

мікропроцесорні. До того ж, багата бібліотека компонентів, що включає резистори, конденсатори, діоди, транзистори, мікросхеми та інші елементи, дає можливість створювати складні та різноманітні схеми [9, 10].

Іншою важливою характеристикою Multisim є можливість симуляції роботи схем. Ця особливість дозволяє користувачам перевіряти функціональність та ефективність схеми до її фізичного виготовлення. Симулятор Multisim забезпечує детальний аналіз роботи схеми, дозволяючи вносити зміни в параметри та спостерігати за впливом цих змін на загальну поведінку схеми.

Крім того, Multisim пропонує розширені можливості для аналізу схем, включаючи аналіз сигналів, напруги, потужності та інших важливих параметрів. Це дає змогу користувачам оцінити поведінку схеми в різних умовах експлуатації, сприяючи підвищенню якості та надійності кінцевих продуктів [10].

Нарешті, Multisim надає користувачам можливість експортувати схеми в різноманітні формати, включаючи PDF, PNG та Gerber. Це розширює можливості використання створених схем, дозволяючи їх роздруковувати або використовувати у виробництві електронних пристроїв [9, 10].

Підсумовуючи, Multisim є потужним інструментом, що поєднує в собі легкість у використанні, широкий спектр компонентів, ефективність симуляції, розширені аналітичні можливості та гнучкість у експорті схем. Однак, необхідно відзначити, що Multisim може бути дорогою для деяких користувачів, а також вимагає високих системних ресурсів для оптимальної роботи. В цілому, Multisim рекомендується як високоякісний інструмент для інженерів, які займаються проектуванням електронних схем, пропонуючи широкий спектр функцій для створення, аналізу та оцінки електронних пристроїв.

## 1.2.2. Proteus Design Suite: Характеристики та можливості, застосування для моделювання та тестування

Proteus Design Suite (рис. 1.4), створений компанією Labcenter Electronics, виступає як комплексна програмна платформа для автоматизованого проектування та розрахунку (САПР), спеціалізуючись на моделюванні та тестуванні електронних схем [11]. Цей інструмент, відомий своєю гнучкістю та комплексністю функціоналу, широко використовується інженерами та академічними установами у сфері електроніки.

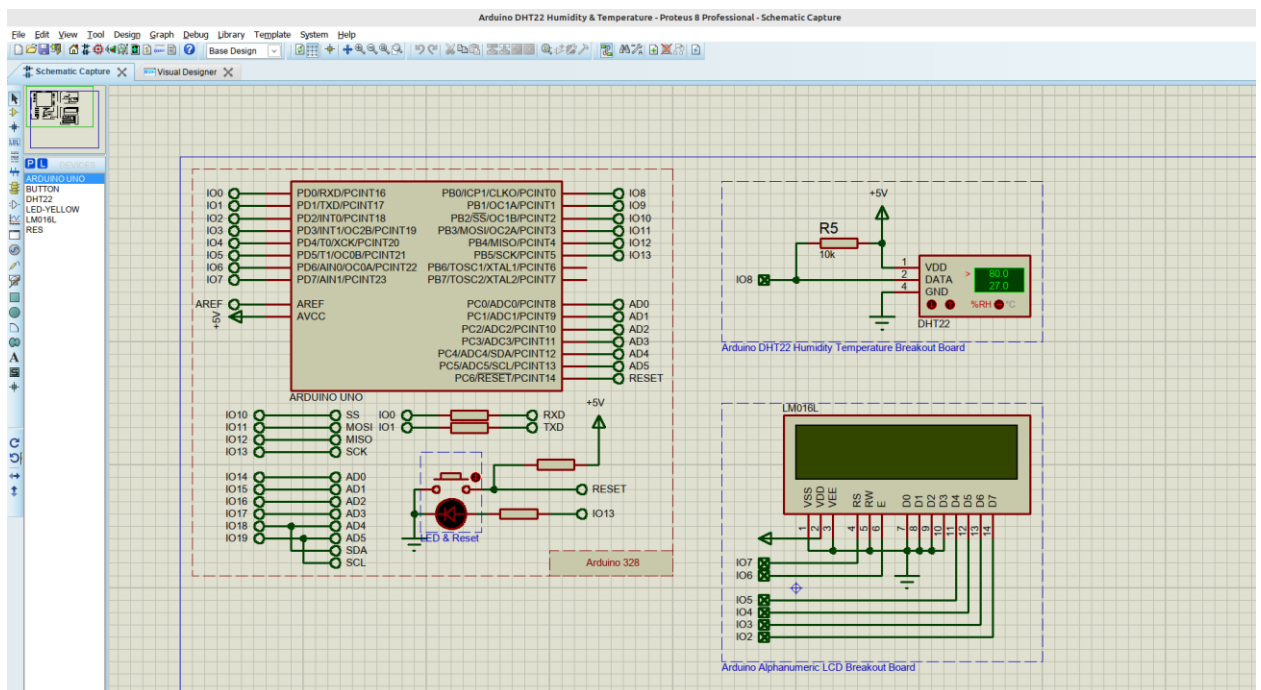


Рисунок 1.4 – Вікно програми Proteus Design Suite [12]

Особливістю програми Proteus Design Suite є її здатність до високоточного моделювання електронних компонентів та схем, забезпечуючи важливі можливості для ефективного тестування та налагодження проектів у віртуальному середовищі. Ця характеристика Proteus сприяє зниженню витрат та часу, необхідних для розробки нових електронних продуктів.

Proteus Design Suite включає широку бібліотеку електронних компонентів, що охоплює широкий спектр аналогових та цифрових елементів. Завдяки цьому, програма забезпечує значну гнучкість у проектуванні



різноманітних електронних схем, включаючи мікроконтролери, інтегральні схеми та датчики [11, 12].

Окрім цього, Proteus Design Suite пропонує інтегровані рішення для проектування друкованих плат (PCB), забезпечуючи безшовний перехід від схемотехнічного проектування до фізичного дизайну плат. Такий підхід забезпечує більш ефективний та координований процес розробки.

Додатково, Proteus містить інструменти для проведення детального аналізу схем, включаючи аналіз частотних характеристик, діагностику помилок та тепловий аналіз. Ці інструменти надають можливість глибокого оцінювання поведінки схем в різних робочих умовах, сприяючи підвищенню надійності та якості кінцевих продуктів.

Важливою характеристикою Proteus Design Suite є також його здатність до візуалізації схем, що включає реалістичне представлення та 3D-моделювання. Ця можливість є особливо корисною для демонстрації проектів та підготовки презентацій [12].

Проте, слід зазначити, що Proteus може виявитися складним для освоєння, особливо для початківців, через велику кількість функцій та деталізованих налаштувань. Крім того, високий рівень деталізації симуляцій вимагає значних системних ресурсів для ефективної роботи.

У підсумку, Proteus Design Suite є комплексним інструментом, який надає інженерам можливості для розробки, симуляції, аналізу та візуалізації електронних схем та систем. Завдяки інтеграції різних аспектів проектного процесу, Proteus стає цінним ресурсом для створення високоякісних і надійних електронних рішень.

### **1.3. Огляд онлайн САПР**

#### **1.3.1. Tinkercad: Особливості та інтерфейс, переваги для початківців та освітніх цілей**

Tinkercad (рис. 1.5), розроблений компанією Autodesk, являє собою

інноваційний онлайн-інструмент для моделювання та проектування, що спеціалізується на 3D-дизайні, електроніці та кодуванні [13]. Цей інструмент здобув популярність завдяки своїй доступності та простоті використання, роблячи його особливо привабливим для освітніх цілей, хобістів та початківців у сфері проектування.

Однією з видатних особливостей Tinkercad є його інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який дозволяє користувачам швидко освоїти основи 3D-моделювання та електроніки. Ця платформа включає в себе дружні до користувача інструменти для створення 3D-моделей, електронних схем та базового кодування, що робить її ідеальною для освітніх програм та самоосвіти.

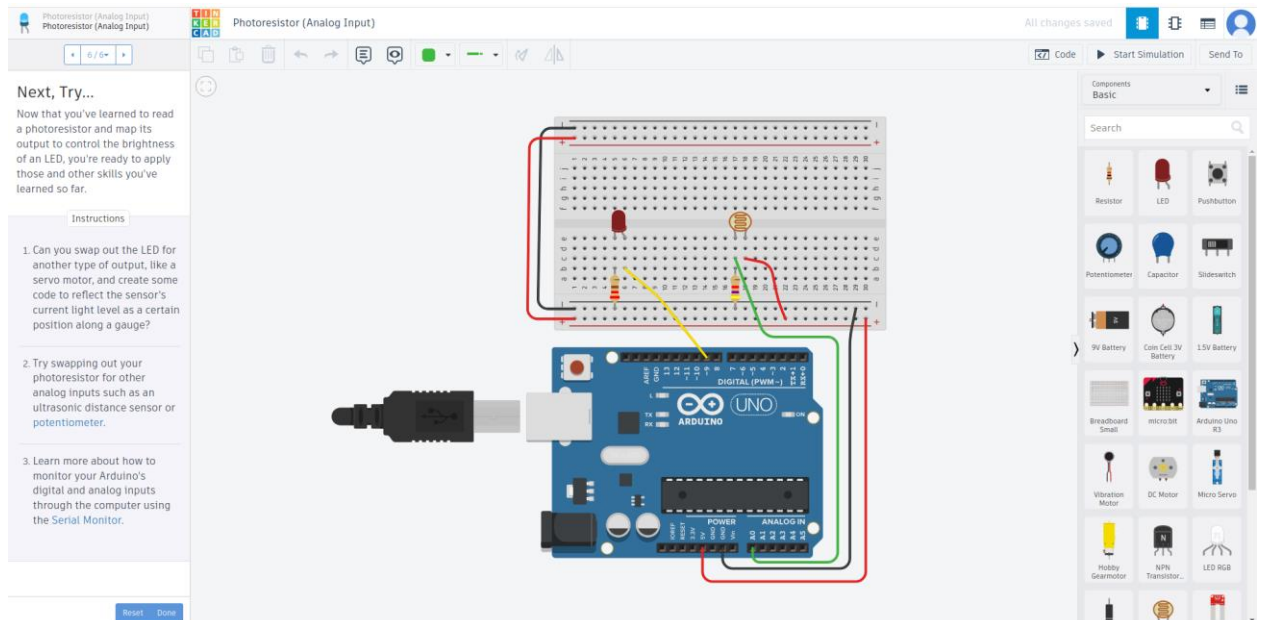


Рисунок 1.5 – Вікно програми Tinkercad [14]

Tinkercad пропонує широкий спектр можливостей для 3D-дизайну, включаючи прості форми, які можна комбінувати та модифікувати для створення складніших дизайнів. Ця гнучкість дозволяє користувачам експериментувати та розвивати свої навички в 3D-моделюванні, що є важливим для розвитку творчих і технічних здібностей [13, 14].

У сфері електроніки, Tinkercad надає користувачам можливість проектувати та тестувати електронні схеми в віртуальному середовищі. Ця

функція особливо корисна для освітніх цілей, оскільки вона дозволяє студентам та хобістам безпечно експериментувати та вчитися основам електроніки без ризику для фізичного обладнання [13].

Крім того, Tinkercad підтримує основи кодування через блокове програмування, що робить процес навчання кодуванню доступним і зрозумілим. Ця можливість сприяє розвитку важливих навичок у сфері комп'ютерних наук і програмування.

Однак, важливо зазначити, що Tinkercad може бути обмеженим у плані функціоналу для досвідчених користувачів або для складних проектів. Його простота, яка є перевагою для новачків, може не задовольнити потреби професіоналів у певних спеціалізованих або більш складних дизайнерських проектах.

Tinkercad — це безкоштовна колекція програмних онлайн-інструментів, які допомагають людям в різних куточках світу думати, винаходити і створювати. Це інструмент для знайомства з Autodesk — лідером у сфері програмного забезпечення для 3D-проектирования, розробки, анімації і графіки. Вихідні документи Tinkercad сумісні з усім професійним програмним забезпеченням фірми Autodesk [13].

Tinkercad дозволяє вільно працювати з 3-моделями: переміщувати, корегувати, групувати готові форми у робочому просторі, імпортувати властивості. Tinkercad підтримує всі існуючі 3D-принтери, для яких використовуються стандартні файли (STL), а також є можливість підготовки файлів для яких використовуються стандартні файли (STL), а також є можливість підготовки файлів для кольорового друку (VRML) та експорту в формат SVG для лазерної різки[15].

У підсумку, Tinkercad є цінним інструментом, який забезпечує легкий доступ до 3D-дизайну, електроніки та програмування, роблячи його ідеальним для освітніх установ, початківців та хобістів. Його легкість у використанні та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс сприяють розвитку основних навичок у цих галузях, хоча його функціональні обмеження можуть бути перешкодою для

більш складних проєктів.

### 1.3.2. Wokwi: Опис та функціонал, можливості для віртуального моделювання

Wokwi (рис 1.5), як інноваційний онлайн-інструмент для моделювання та проєктування, забезпечує значний внесок у сферу освіти та хобі в області електроніки та програмування. Цей ресурс відрізняється своєю здатністю до точного моделювання електронних схем та програмних кодів, що робить його цінним інструментом для студентів, викладачів та ентузіастів електроніки [16].

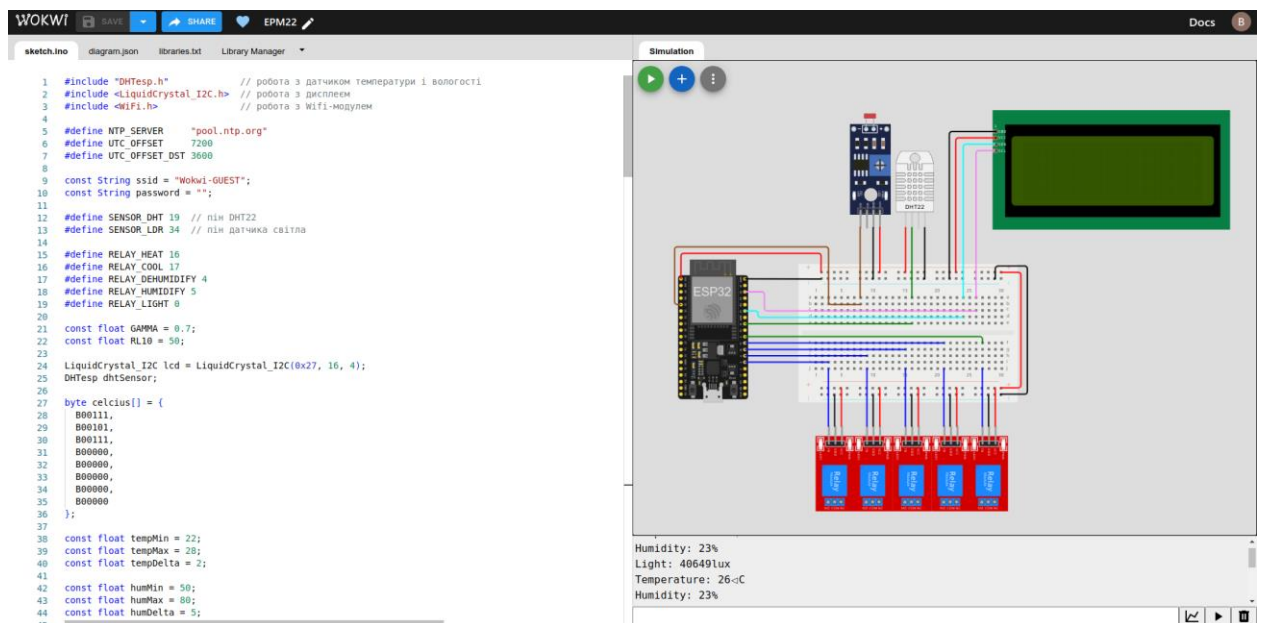


Рисунок 1.5 – Вікно програми Wokwi [17]

Wokwi дозволяє інтегрувати різноманітні компоненти, такі як датчики, реле та інші, в емульовані схеми, спрощуючи процес розробки.

Основною перевагою є гнучкість у виборі мікроконтролера для симуляції, включаючи такі платформи, як Arduino, ESP32, Raspberry Pi Pico. Користувачі можуть моделювати різні сценарії та експериментувати з різними мікроконтролерами, визначаючи найбільш ефективні рішення для своїх проєктів [16, 17].

Основною особливістю Wokwi є його здатність ефективно моделювати та тестувати мікроконтролери та їх взаємодію з різними електронними компонентами. Це дозволяє користувачам проводити віртуальні експерименти та випробування, маючи можливість візуально прослідкувати поведінку схеми та виводи мікроконтролерів у реальному часі.

Wokwi включає у себе інтуїтивно зрозумілі інструменти для створення та редагування електронних схем, що сприяє легкому засвоєнню основ електроніки та мікроконтролерних систем. Користувачі мають доступ до різноманітних компонентів та модулів, що дозволяє їм експериментувати з широким спектром проектів, від базових до складніших.

Сильними сторонами симулятора Wokwi є [18]:

- 1) Форматування та автозаповнення коду
- 2) Демонстраційні приклади стандартної бібліотеки
- 3) Можливість створення своїх компонентів і бібліотек
- 4) Функція моніторингу LED і FPS (особливо для проектів FastLED)
- 5) Проект може бездоганно працювати навіть у мобільних браузерях
- 6) Орієнтація на реальні умови - наприклад, функція відскоку кнопки
- 7) Підтримка Arduino Mega, Arduino Nano, асемблерних інструкцій

Крім того, Wokwi надає можливості для програмування мікроконтролерів, використовуючи популярні мови програмування, такі як C++ та Python. Це дає користувачам можливість розробляти, тестувати та вдосконалювати свої програмні коди у віртуальному середовищі, що значно підвищує ефективність навчання та розробки.

Додатково, Wokwi створює середовище сприятливе для спільної роботи та обміну ідеями. За допомогою цього інструменту, користувачі можуть ділитися своїми проектами, обговорювати рішення та надавати поради один одному, що сприяє колективному розвитку в електронній галузі [16].

Однак, слід врахувати, що Wokwi, будучи віртуальним інструментом, може мати певні обмеження у відтворенні складності та динаміки реальних фізичних систем. Також для ефективного використання платформи потрібне

базове розуміння електроніки та програмування.

У підсумку, Wokwi є важливим ресурсом для освітньої сфери та хобі, забезпечуючи ефективні засоби для навчання та розвитку в області електроніки та програмування. Його здатність до віртуального моделювання та програмування робить його цінним інструментом для експериментування та вивчення, хоча його обмеження у комплексності можуть вимагати додаткового використання фізичних компонентів для більш глибокого розуміння електронних систем.

#### **1.4. Порівняльний аналіз традиційних та онлайн САПР**

Для порівняння традиційних та онлайн САПР для моделювання електронних пристроїв на основі даних офіційних сайтів розробників, технічної документації, оглядів та відгуків користувачів та особистого досвіду користування було визначено наступні критерії:

1. Тип (Традиційний vs Онлайн САПР). Дозволяє розрізнити між платформами, що вимагають локальної інсталяції, та тими, що працюють в хмарному середовищі.
2. Спеціалізація. Визначає основну область застосування кожної системи, включаючи аналогові, цифрові схеми та області, такі як освіта та прототипування.
3. Інтерфейс. Оцінює користувацький досвід, зосереджуючись на інтуїтивності та складності інтерфейсу кожної системи.
4. Симуляція. Враховує здатність систем до точної симуляції електронних схем.
5. Програмування мікроконтролерів. Важливо для оцінки можливостей САПР у роботі з Arduino та іншими мікроконтролерами.
6. Доступність. Включає вартість, ліцензування та зручність доступу до систем.

7. Підтримка користувачів. Відображає рівень допомоги та підтримки, що надається користувачам системи.

Таблиця 1.1 – Порівняння традиційних та онлайн САПР (Multisim, Proteus, Tinkercad, Wokwi).

Критерії	Multisim	Proteus	Tinkercad	Wokwi
Тип	Традиційний САПР	Традиційний САПР	Онлайн САПР	Онлайн САПР
Спеціалізація	Аналогові, цифрові схеми	Аналогові, цифрові схеми, РСВ	Освітній, початковий рівень	Arduino, IoT
Інтерфейс	Комплексний	Комплексний	Інтуїтивний	Дружній до користувача
Симуляція	Так	Так	Обмежена	Так
Програмування мікроконтролерів	Обмежена	Так	Так (Arduino)	Так
Доступність	Ліцензійний	Ліцензійний	Безкоштовний	Безкоштовний/Підписка
Підтримка користувачів	Висока	Висока	Середня	Середня

Узагальнюючи висновки з порівняння, можна сказати, що кожна САПР має свої сильні сторони, свої переваги для певних задач та категорій користувачів. Так само є в них й недоліки. Тому рішення про вибір певної САПР для розробки та моделювання електронних пристроїв треба приймати виходячи з конкретної постановки задачі та наявних можливостей (фінансових, часових, та інших).

## РОЗДІЛ 2.

### МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

#### **2.1. Розробка структури системи керування параметрами оточуючого середовища**

Розглянемо моделювання електронної системи за допомогою онлайн САПР Wokwi на прикладі комплексу автоматичного керування параметрами оточуючого середовища в теплиці або оранжереї. Покладені в розробку системи принципи забезпечують її універсальність, а налаштуванням параметрів досягається забезпечення найкращих умов для життєдіяльності рослин в контрольованому середовищі.

Представлені в роботі параметри є модельними, і повинні бути змінені в реальній системі, залежно від того, які параметри мікроклімату необхідно створити для нормальної життєдіяльності екосистеми.

Комп'ютеризована система для моніторингу умов в теплиці чи оранжереї повинна відповідати таким критеріям:

Вологість повітря повинна залишатися в діапазоні від 50% до 80%.

Температура має утримуватися між +22° і +28° Цельсія.

Світло повинно бути увімкнене не менше 12 годин на добу, і мати інтенсивність не нижче 8000 люкс.

На рис. 2.1 наведено блок-схему алгоритму роботи цієї системи, що ілюструє послідовність дій та процес зчитування даних і прийняття рішень.

Робота системи ґрунтується на циклічному процесі контролю та корекції параметрів. Постійне зчитування значень з датчиків, порівняння їх з заданими діапазонами, визначення корекцій та генерація команд для управління відбувається без перерв. Цей постійний моніторинг дозволяє системі реагувати на зміни в середовищі та втручатися для забезпечення оптимальних умов. Автоматизований процес управління звільняє користувача від постійного контролю та регулювання параметрів вручну. Така



комп'ютеризована система гарантує ефективний та надійний контроль навколишнього середовища.



Рисунок 2.1 – Блок-схема автоматизованої системи керування мікрокліматом

Після встановлення та запуску комп'ютеризованої системи контролю параметрів освітлення, вологості та температури в оранжереї, розпочинається процес роботи, який включає наступні етапи:

- 1) Ініціалізація початкових налаштувань;
- 2) Зчитування та порівняння поточних значень. Система перевіряє поточні значення освітлення, вологості та температури за допомогою вбудованих датчиків. Ці дані порівнюються із запрограмованими налаштуваннями;
- 3) Корекція значень. Якщо поточні значення відрізняються від бажаних, система автоматично виконує корекції. Наприклад, при недостатньому освітленні вона активує освітлювальні пристрої, а при зміні вологості чи температури може вмикати або вимикати зволожувачі чи обігрівачі;
- 4) Повторення циклу. Після виконання корекцій система знову зчитує значення параметрів з датчиків та повторює цей цикл. Це забезпечує постійний моніторинг та корекцію параметрів для забезпечення стабільних та оптимальних умов середовища.

Цей цикл автоматично повторюється без втручання користувача, щоб забезпечити стабільність та оптимальні умови для росту і здоров'я рослин. Система також може враховувати встановлені діапазони для параметрів та виконувати корекції, якщо значення виходять за їх межі. Такий підхід дозволяє системі утримувати стабільні та оптимальні умови для життя організмів у теплиці без постійного втручання користувача.

## **2.2. Апаратне забезпечення для системи автоматизованого керування параметрами мікроклімату замкнутої системи**

Елементи, що використовуються у проектуванні системи контролю параметрів у середовищі оранжереї:

- 1) ESP32                      WROOM.                      Мікроконтролерний                      модуль

ESP32 WROOM (рис. 2.2) використовується як центральний елемент системи. Цей мікропроцесор володіє мінімальним електроспоживанням, високою продуктивністю та можливостями бездротового з'єднання. Його використання широко розповсюджене в розробці Інтернету речей (IoT), прототипуванні та інших областях;

2) Модуль реле 3.3В – використовуються для керування різними пристроями, такими як лампи освітлення, обігрівачі чи інші пристрої. Реле забезпечує можливість управління високовольтними пристроями з використанням низьковольтного сигналу від ESP32;

3) Датчик вологості та температури DHT22 – вимірює температуру та вологість в середовищі, забезпечує системі необхідні дані для моніторингу та контролю параметрів у реальному часі;

4) Фоторезистор – вимірює освітленість у середовищі;

5) Дисплей – виводить поточні дату, час та виміряні параметри середовища.

Кожен елемент виконує свою функцію у системі, забезпечуючи зчитування та управління параметрами мікроклімату оранжереї.

ESP32 WROOM виступає як керуючий мікроконтролер, який забезпечує комунікацію між різними елементами системи. Модулі реле, фоторезистор та датчик DHT22 дозволяють контролювати та вимірювати вологість, температуру, освітленість та управляти пристроями.



Рисунок 2.2 – Мікроконтролерний модуль ESP32 WROOM

ESP32 – це мікроконтролер з численними особливостями, що роблять

його популярним у різних сферах розробки. Основні характеристики [19]:

1) ESP32 оснащений двома процесорними ядрами Xtensa LX6. Це дозволяє виконувати багатозадачні завдання та оптимізує роботу з бездротовими з'єднаннями;

2) мікроконтролер підтримує різні бездротові протоколи, включаючи Wi-Fi (802.11 b/g/n) і Bluetooth (Classic та Low Energy). Це робить його ідеальним для розробки проектів IoT;

3) ESP32 має режими енергозбереження, які дозволяють ефективно використовувати енергію та продовжити тривалість роботи від батареї. Це важливо для пристроїв, які працюють в автономному режимі;

4) ESP32 має великий набір вбудованих GPIO, UART, SPI, I2C, ADC та інших інтерфейсів для підключення периферійних пристроїв. Це дозволяє підключати різноманітні датчики та пристрої вводу/виводу;

5) Мікроконтролер має можливість підключення зовнішніх модулів і розширювальних бордів, що робить його гнучким для розширення функціональності та використання в різних проектах;

6) ESP32 легко програмується завдяки вбудованому адаптеру USB-TTL. Має кнопки для програмування та скидання, що полегшує роботу з ним;

7) Плата ESP32 забезпечує зручний доступ до виходів модуля, спрощуючи роботу з платою.

Модуль реле 3.3В (рис. 2.3) призначений для керування електричними навантаженнями. Загальна архітектура системи, з використанням ESP32 та модуля реле, робить її гнучкою та пристосованою для різноманітних автоматизованих додатків, включаючи управління мікрокліматом.

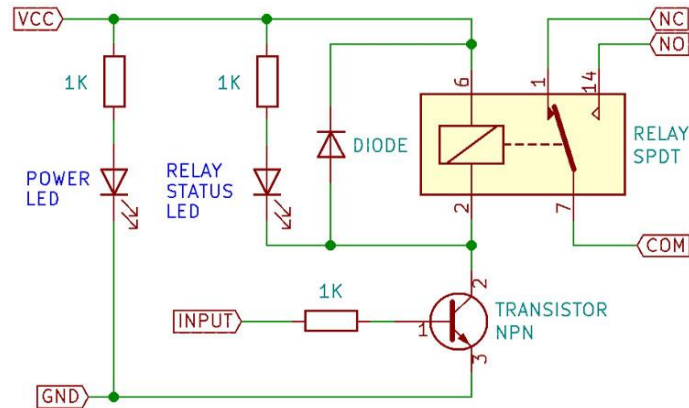


Рисунок 2.3 – Схема модуля реле

Модуль реле є ключовим електронним компонентом, який дозволяє керувати електричними навантаженнями. Основні характеристики цього модуля:

- 1) Напруга живлення – модуль призначений для живлення від джерела напруги 3.3В. Зазвичай, цю напругу забезпечує мікроконтролер або інше джерело живлення;
- 2) Кількість каналів – модуль може мати один або кілька каналів реле, де кожен канал може керувати окремим електричним навантаженням;
- 3) Реле: Кожен канал обладнаний вбудованим електромеханічним реле, яке використовується для перемикання електричного контакту. Це дозволяє вмикати або вимикати електричне навантаження;
- 4) Інтерфейс керування: Модуль має інтерфейс керування, яким може бути GPIO або інші протоколи. Цей інтерфейс дозволяє підключати модуль до мікроконтролерів або інших електронних пристроїв для керування станом реле;
- 5) Захисні функції: Деякі модулі реле можуть мати захисні функції, такі як оптокопліти для ізоляції сигналів керування та навантаження, або засоби захисту від перенапруги.

Технічні характеристики можуть відрізнятися залежно від виробника, але загальними є:

- 1) Нормальна напруга: 3.3В постійного струму;
- 2) Нормальний струм: 70 мА;
- 3) Максимальний струм навантаження: 10 А/250 В перемінного струму, 10 А/30 В постійного струму;
- 4) Максимальна напруга переключення: 250 В перемінного струму, 30 В постійного струму;
- 5) Час роботи:  $\leq 10$  мс;
- 6) Час випуску:  $\leq 5$  мс.

Модуль реле є ефективним і надійним елементом для керування електричними пристроями в різноманітних електронних проектах.

Для контролю параметрів освітлення використовується сенсорний модуль з фоторезистором підключеним послідовно з резистором на 10кОм. Напруга на виводі АО залежить від освітленості - це кількість світла, що падає на сенсор. На вивід DO виводиться сигнал при перевищенні налаштованого значення освітленості.

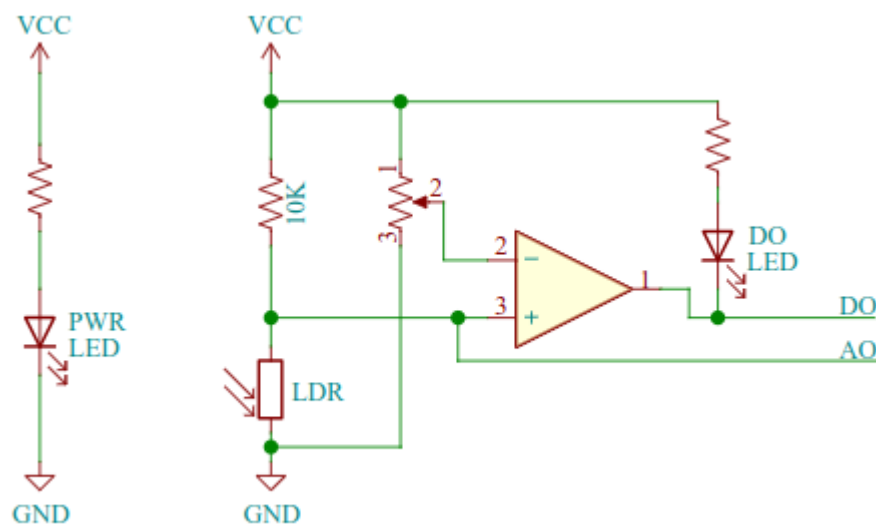


Рисунок 2.4 – Схема модуля сенсора освітленості

Для вимірювання вологості та температури в навколишньому середовищі використовується датчик DHT22 (зображений на рис. 2.4). Його компактний розмір і простота використання роблять його популярним у проектах, пов'язаних з контролем клімату, автоматизацією та іншими

застосунками, де вимірювання вологості та температури є важливими.

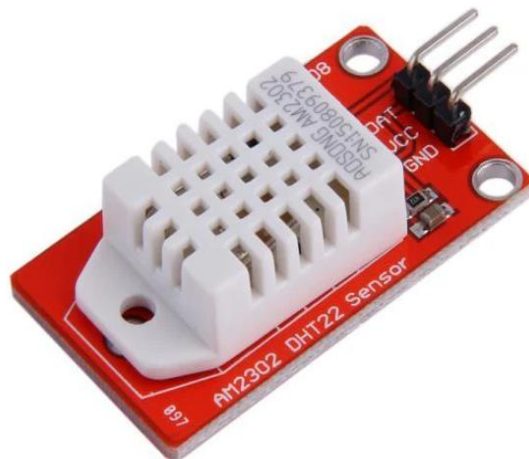


Рисунок 2.5 – Датчик вологості та температури DHT22

Датчик DHT22 складається з ємнісного чутливого елемента для вимірювання вологості та термістора для вимірювання температури. Конденсатор датчика вологості має два електроди з вологоутримувальною підкладкою як діелектриком між ними. Зміна значення ємності відбувається зі зміною рівня вологості. Інтегральна мікросхема (IC) вимірює, обробляє змінені значення опору та перетворює їх у цифрову форму.

Ці характеристики роблять датчик DHT22 ефективним і доступним засобом для отримання точних вимірювань вологості та температури, що є важливим для забезпечення оптимальних умов у системі контролю параметрів середовища оранжерії.

Основні характеристики DHT22[20]:

- 1) Датчик здатен вимірювати вологість повітря в діапазоні від 0% до 100% з точністю  $\pm 2\%$ . Виводить відсоткове значення вологості.
- 2) Може вимірювати температуру від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $80^{\circ}\text{C}$  з точністю  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . Виводить значення температури в градусах Цельсія.
- 3) Має цифровий вихід, що дозволяє зручно зчитувати виміряні значення вологості й температури з мікроконтролерів або інших електронних пристроїв. Використовує однопровідний протокол передачі даних.

- 4) Датчик має дуже низьку споживану потужність, що дозволяє економити енергію в батарейних пристроях або довготривалих проектах.
- 5) Працює з напругою живлення від 3.3 В до 6 В, що робить його сумісним з різними платформами та мікроконтролерами.
- 6) Має невеликі габарити, що дозволяє легко впроваджувати його в проекти з обмеженим простором.
- 7) Є надійним датчиком з доброю стабільністю та довговічністю в роботі.

Датчик DHT22 має чотири контакти: VCC, GND, NC і контакт даних. VCC і земля подаються для живлення, а контакт даних використовується для отримання даних з датчика. Його легко інтегрувати в систему, і для його коректної роботи потрібно встановити відповідну бібліотеку.

Для відображення поточних значень параметрів середовища до складу пристрою включено 4-рядковий (20 символів у рядку) рідкокристалічний дисплей, що підключається до мікроконтролера по шині I2C.

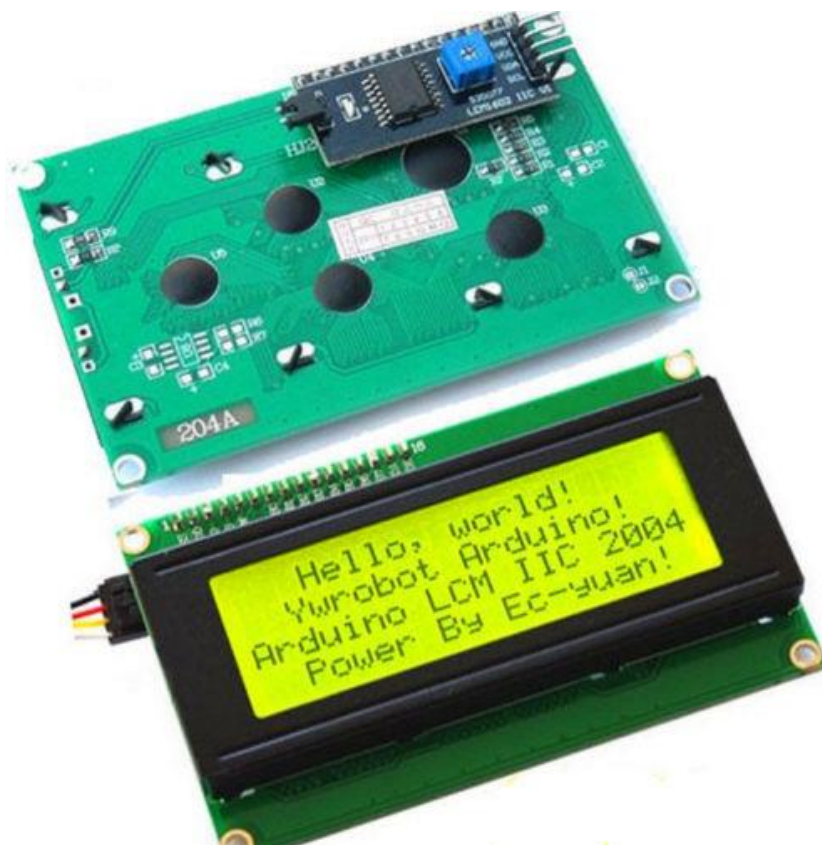


Рисунок 2.6 – Модуль LCD 2004 з I2C підключенням

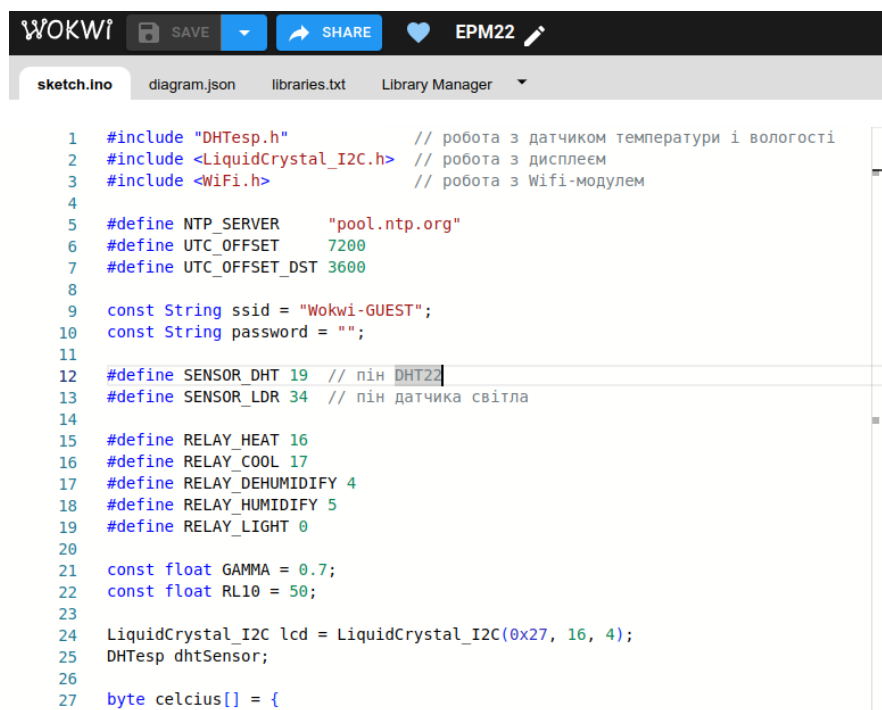


## 2.3. Проектування електронної системи керування в САПР Wokwi

Для віртуального прототипування комп'ютеризованої системи контролю середовища використаємо онлайн САПР Wokwi.

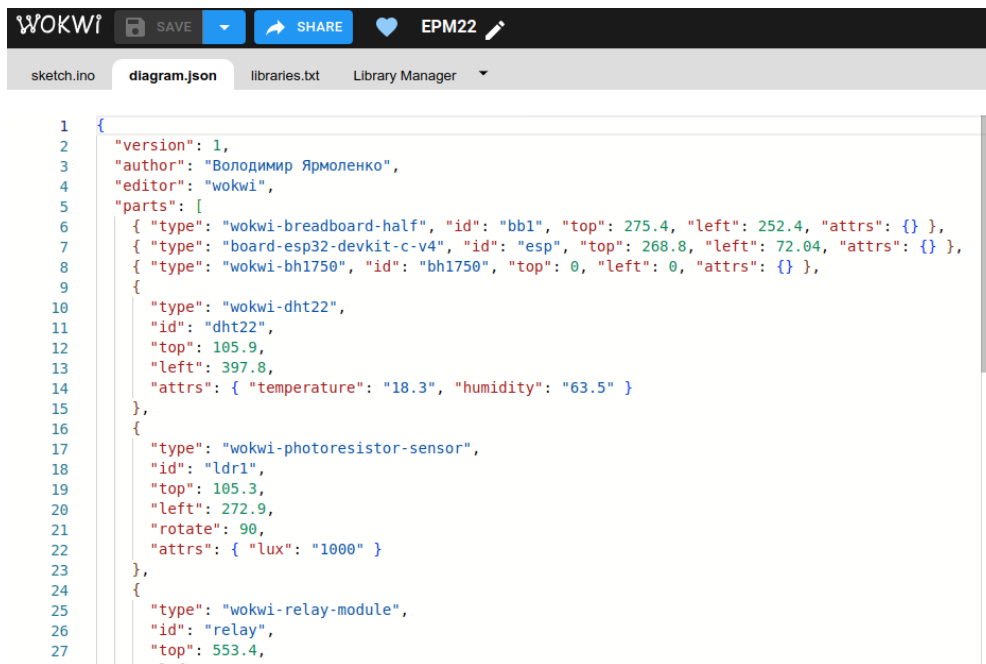
Wokwi представляє собою інноваційний онлайн симулятор для розробки електронних систем, зокрема мікроконтролерів, який спрощує та прискорює процес проектування. Цей інструмент дає розробникам можливість створювати та емулювати складні електронні схеми прямо у веб-браузері, без потреби встановлення додаткового програмного забезпечення.

Онлайн інтерфейс Wokwi має інтуїтивно зрозумілий та зручний для програмування текстовий редактор (зображений на рис. 2.7). Це дозволяє розробникам не лише збирати електронні схеми, але й розробляти та налагоджувати програмний код для мікроконтролера.



```
WOKWI SAVE SHARE EPM22
sketch.ino diagram.json libraries.txt Library Manager
1 #include "DHTesp.h" // робота з датчиком температури і вологості
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h> // робота з дисплеєм
3 #include <WiFi.h> // робота з Wifi-модулем
4
5 #define NTP_SERVER "pool.ntp.org"
6 #define UTC_OFFSET 7200
7 #define UTC_OFFSET_DST 3600
8
9 const String ssid = "Wokwi-GUEST";
10 const String password = "";
11
12 #define SENSOR_DHT 19 // пін DHT22
13 #define SENSOR_LDR 34 // пін датчика світла
14
15 #define RELAY_HEAT 16
16 #define RELAY_COOL 17
17 #define RELAY_DEHUMIDIFY 4
18 #define RELAY_HUMIDIFY 5
19 #define RELAY_LIGHT 0
20
21 const float GAMMA = 0.7;
22 const float RL10 = 50;
23
24 LiquidCrystal_I2C lcd = LiquidCrystal_I2C(0x27, 16, 4);
25 DHTesp dhtSensor;
26
27 byte celcius[] = {
```

Рисунок 2.7 – Текстовий редактор коду



```

1  {
2    "version": 1,
3    "author": "Володимир Яроменко",
4    "editor": "wokwi",
5    "parts": [
6      { "type": "wokwi-breadboard-half", "id": "bb1", "top": 275.4, "left": 252.4, "attrs": {} },
7      { "type": "board-esp32-devkit-c-v4", "id": "esp", "top": 268.8, "left": 72.04, "attrs": {} },
8      { "type": "wokwi-bh1750", "id": "bh1750", "top": 0, "left": 0, "attrs": {} },
9      {
10       "type": "wokwi-dht22",
11       "id": "dht22",
12       "top": 105.9,
13       "left": 397.8,
14       "attrs": { "temperature": "18.3", "humidity": "63.5" }
15     },
16     {
17       "type": "wokwi-photoresistor-sensor",
18       "id": "ldr1",
19       "top": 105.3,
20       "left": 272.9,
21       "rotate": 90,
22       "attrs": { "lux": "1000" }
23     },
24     {
25       "type": "wokwi-relay-module",
26       "id": "relay",
27       "top": 553.4,
28       "left": 100,
29       "attrs": {}
30     }
31   ]
32 }

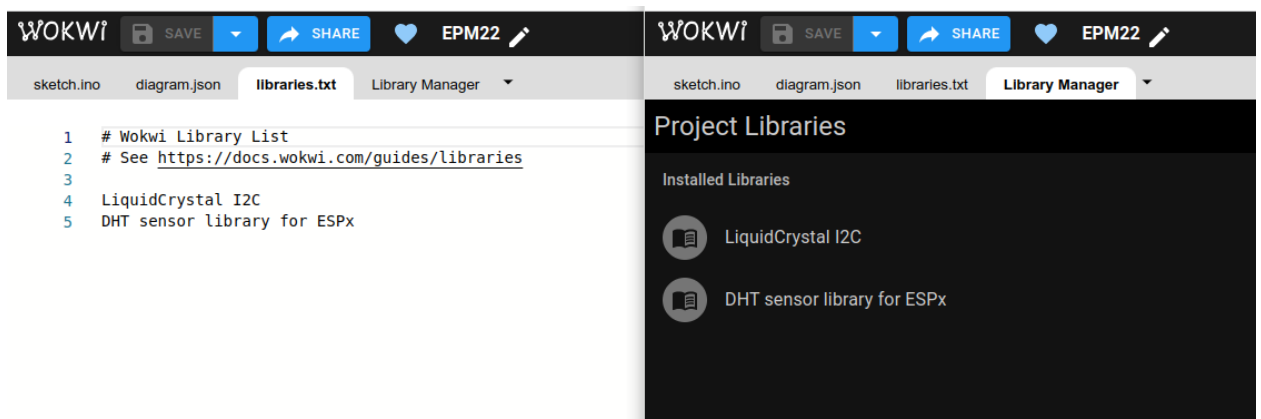
```

Рисунок 2.8 – Файл diagram.json

Також Wokwi має файл diagram.json, який визначає всю схему з'єднань та всі елементи, використані у проекті (див. рис. 2.8). Тут можна побачити їх тип, ID, а також дротом якого кольору з'єднані ці елементи на схемі.

У файлі libraries.txt відображаються бібліотеки елементів які були застосовані у проекті (див. рис. 2.9). Цей же перелік бібліотек можна редагувати за допомогою візуального Library manager. Тут же можна знайти та додати бібліотеки для пристроїв, що потребують додаткових бібліотек.

Справа від редактора відображається вікно моделювання та з'єднань схеми, в якому можна додавати різні елементи. Також є можливість при симуляції змінювати їх параметри (рис. 2.10).



```

1  # Wokwi Library List
2  # See https://docs.wokwi.com/guides/libraries
3
4  LiquidCrystal I2C
5  DHT sensor library for ESPx

```

**Project Libraries**

Installed Libraries

- LiquidCrystal I2C
- DHT sensor library for ESPx

Рисунок 2.9 – Бібліотека елементів та Library manager

Варто зазначити, що Wokwi, хоч і має зручний інтерфейс та численні переваги, виявляється не без своїх недоліків.

Залежність від Інтернету є основним обмеженням, оскільки симулятор працює тільки в онлайн режимі. Це може бути не зручно для розробників, які потребують доступу в офлайн.

Також варто відзначити обмежені можливості реалістичності Wokwi. Хоча він емулює електронні схеми, йому бракує повноцінності в передачі фізичних аспектів проектів, особливо у складних сценаріях.

Обмежена бібліотека компонентів може стати ще однією перешкодою. Навіть при можливості додавати власні компоненти, відсутність повноцінної бібліотеки може викликати дискомфорт у роботі з проектами.

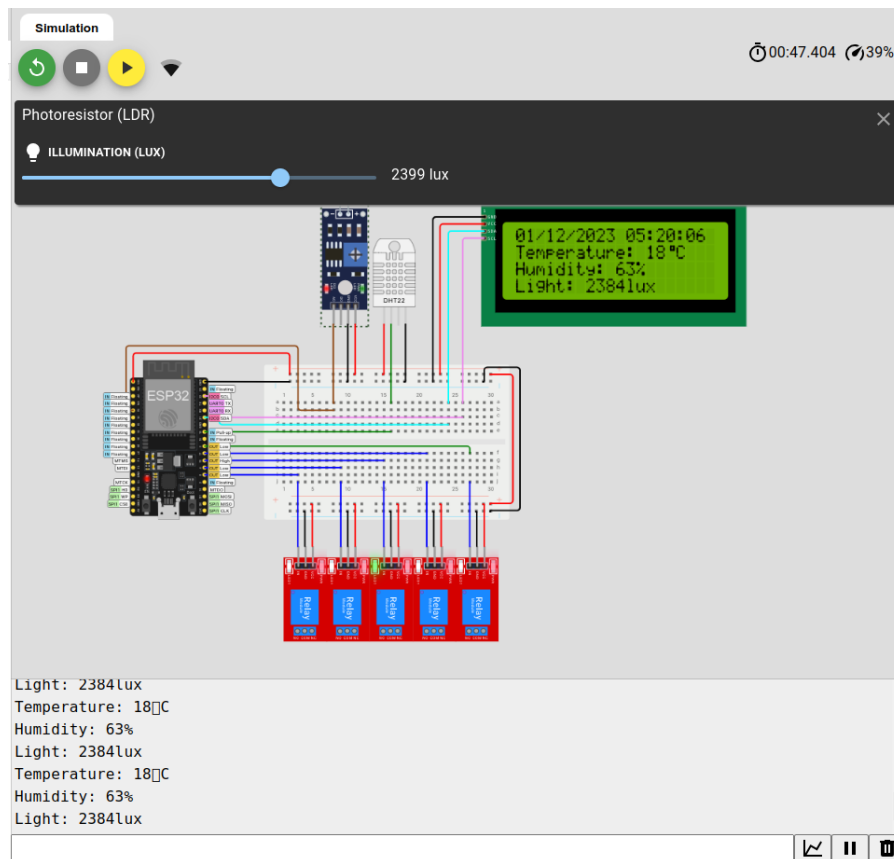


Рисунок 2.10 – Вікно моделювання схеми

Отже, незважаючи на свої переваги, Wokwi може не влаштовувати розробників, які вимагають незалежності від Інтернет-підключення, повноцінності емуляції та розширених бібліотек компонентів.

### РОЗДІЛ 3.

## РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИБОРУ В САПР WOKWI

Модель контролю параметрів середовища в замкнутій системі, на прикладі оранжереї, розроблена в онлайн САПР Wokwi.com. схема підключення обладнання показано на рис. 3.1.

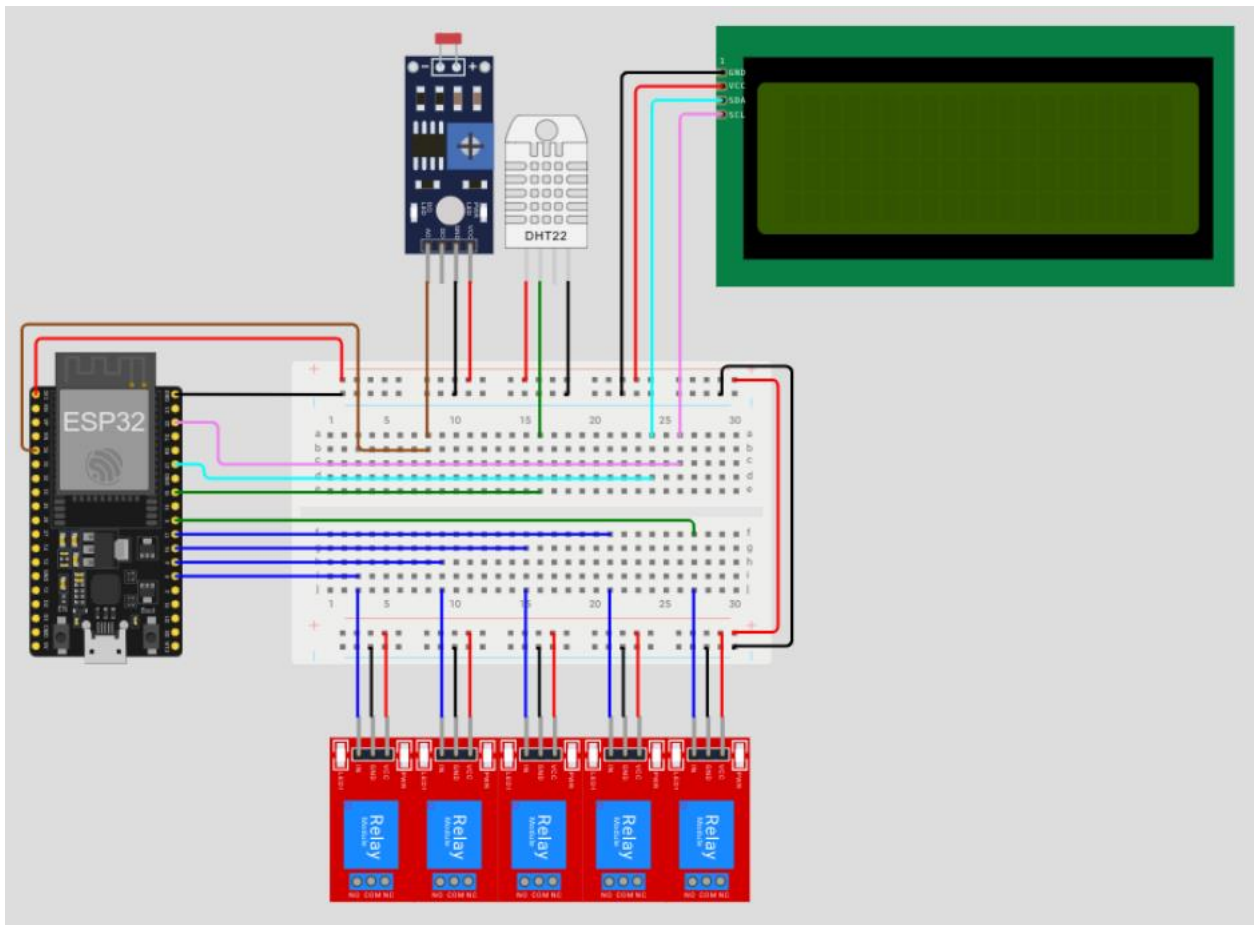


Рисунок 3.1 – Схема підключення пристроїв до мікроконтролерного модуля

Відповідно до поставлених у розділі 2 задач, схема пристрою складається з таких компонентів:

- мікроконтролерного модуля ESP32;
- датчика температури та вологості DHT22;
- датчика освітлення;
- реле обігрівача;

- реле охолоджувача (кондиціонера);
- реле осушувача повітря;
- реле зволожувача повітря
- реле контролю світла
- РК дисплей

Розробка програмного забезпечення здійснювалась мовою програмування C++ зі стандартними обмеженнями для мікроконтролерів. Такий підхід є прийнятим при використанні програмного середовища розробки ArduinoIDE, принципи якого застосовуються і при написанні програм у САПР Wokwi.

Усі параметри контролюються відповідно до наперед заданих значень, які показано у лістингу 3.1.

#### Лістинг 3.1 – Параметри контролю середовища

```
const float tempMin = 22;  
const float tempMax = 28;  
const float tempDelta = 2;  
  
const float humMin = 50;  
const float humMax = 80;  
const float humDelta = 5;  
  
const float lightMin = 8000;  
const unsigned long lightStartHour = 8;  
const unsigned long lightEndHour = 20;
```

Вони мають відповідні значення та межі їх можливих значень. Реле, які представлені в моделі повідомляють про включені у даний момент прилади. (У фізичній реалізації пристрою до реле підключається відповідний пристрій, наприклад, лампа освітлення, кондиціонер і т.д.).

Якщо освітленість складає менше, ніж 8000 лк в години, коли освітлення повинно бути достатнім, то мікроконтролер вмикає світло в середовищі за допомогою реле контролю світла (рис. 3.2). При визначенні достатнього рівня освітленості або поза періоду потреби в світлі реле контролю світла вимикається.

Час на мікроконтролері синхронізується через WiFi з серверами точного часу. При програмуванні визначаються година початку періоду з мінімальною освітленістю та година завершення цього періоду.

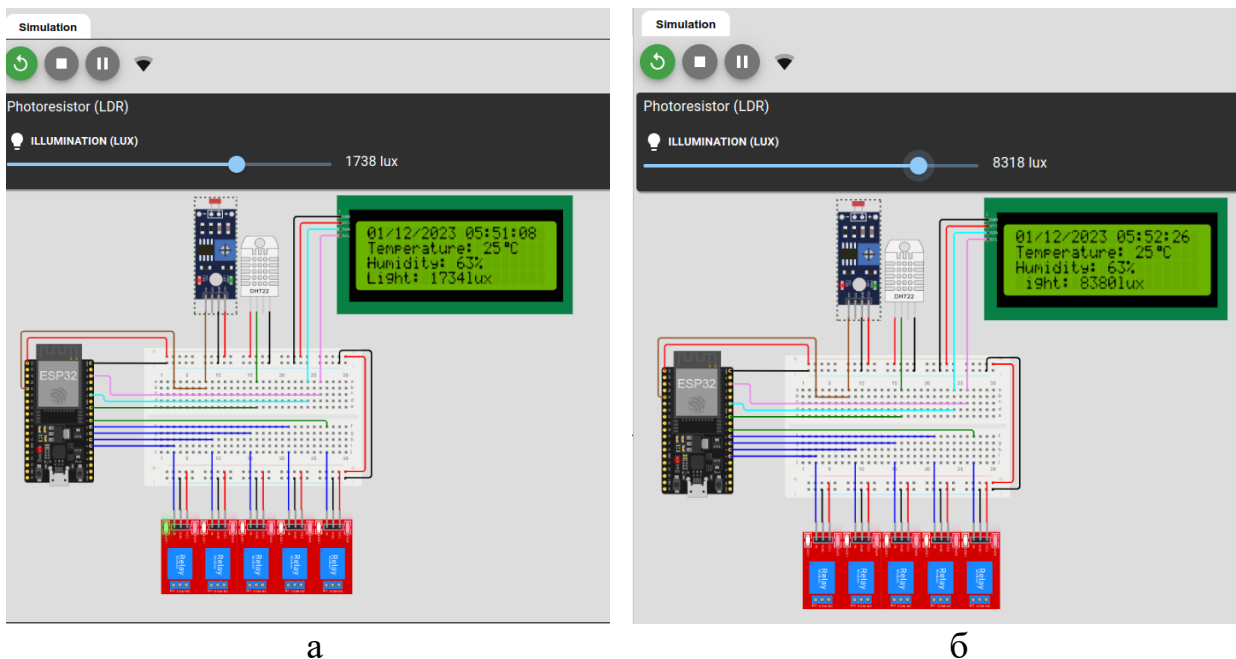
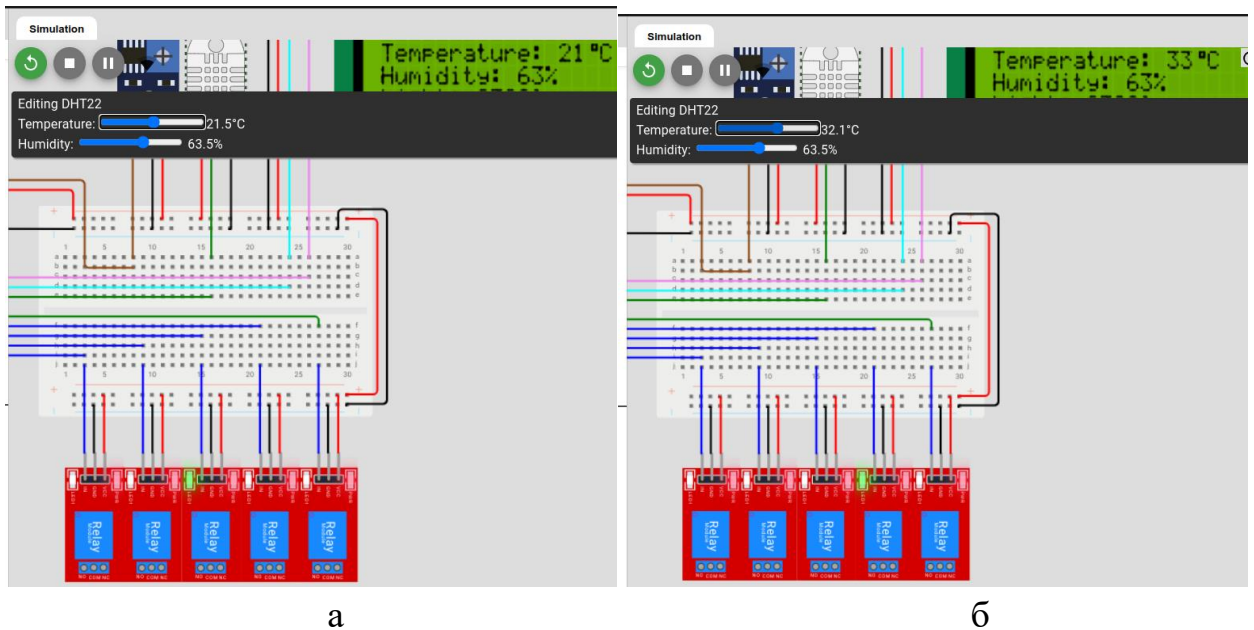


Рисунок 3.2 – Робота контролю освітлення: освітлення менше 8000 лк (а), освітлення більше 8000 лк (б)

На наступному етапі відбувається перевірка датчика температури. У випадку, якщо температура перевищує максимальне чи менше мінімального значення, тоді вмикається або система охолодження, або система обігріву. Якщо температура опускається нижче мінімального значення, вмикається система обігріву, виводячи на порт, до якого підключене дане реле, логічну одиницю. Таким чином, активується вказане реле. (рис. 3.3 а).

При температурі вище максимальної активується система охолодження увімкненням відповідного реле (рис. 3.3 б).



а

б

Рисунок 3.3 – Робота системи обігріву/охолодження: при значенні температури менше мінімуму (а), вище максимуму (б)

### Лістинг 3.2 – Контроль параметрів температури

```

if (temperature < tempMin) {
    shouldHeat = true;
    digitalWrite(RELAY_HEAT, HIGH);
    digitalWrite(RELAY_COOL, LOW);
} else if (temperature > tempMax) {
    shouldCool = true;
    digitalWrite(RELAY_COOL, HIGH);
    digitalWrite(RELAY_HEAT, LOW);
} else if (shouldHeat && temperature >= tempMin +
tempDelta || shouldCool && temperature >= tempMin -
tempDelta) {
    shouldHeat = false;
    shouldCool = false;
    digitalWrite(RELAY_HEAT, LOW);
    digitalWrite(RELAY_COOL, LOW);
}

```

Керування цим процесом відбувається через частину програми, яка представлена в лістингу коду 3.2.

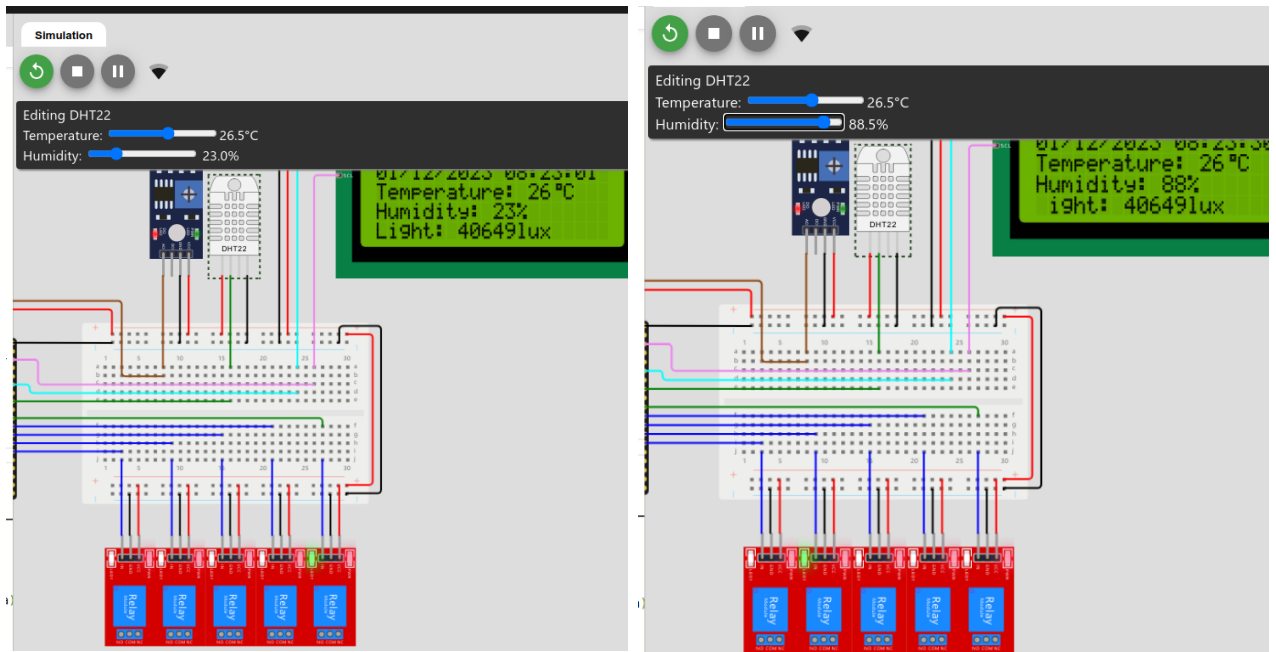
При поверненні температури в нормальний діапазон відключення відповідної підсистеми відбувається з затримкою, якщо виконувався підігрів, то при температурі трохи вищій, ніж нижній поріг, а при охолодженні – при нижчій, ніж верхній поріг. Для цього введено додатковий параметр `tempDelta`. Це робиться для того, щоб уникнути коливань роботи системи біля меж нормального діапазону. Значення `tempDelta` вибирається з урахуванням того, щоб уникнути перерегулювання і коливань біля меж нормального діапазону.

Аналогічно працює система моніторингу вологості (див. рис 3.4 а), яку можна побачити у лістингу коду 3.3.

### Лістинг 3.3 – Робота системи контролю вологості

```
if (humidity < humMin) {
    shouldWater = true;
    digitalWrite(RELAY_HUMIDIFY, HIGH);
    digitalWrite(RELAY_DEHUMIDIFY, LOW);
} else if (humidity > humMax) {
    shouldDry = true;
    digitalWrite(RELAY_DEHUMIDIFY, HIGH);
    digitalWrite(RELAY_HUMIDIFY, LOW);
} else if (shouldWater && humidity >= humMin +
humDelta || shouldDry && humidity <= humMax - humDelta)
{
    shouldWater = false;
    shouldDry = false;
    digitalWrite(RELAY_HUMIDIFY, LOW);
    digitalWrite(RELAY_DEHUMIDIFY, LOW);
}
```





а

б

Рисунок 3.4 – Робота системи контролю вологості: а) вологість нижче норми, б) вологість вище норми

Якщо рівень вологості падає нижче порогового значення, то вмикається зволожувач повітря, який працює до тих пір, поки вологість не увійде в нормальні межі. Якщо ж вологість перевищує заданий верхній поріг, то контролер вмикає реле осушувача повітря, подавши логічну одиницю на порт реле. Це активує реле, що запускає систему збільшення вологості (рис. 3.4 б). При поверненні вологості в межі нормального діапазону також використовуються буферні зони біля меж нормального діапазону.

## ВИСНОВКИ

1. Показано значну ефективність сучасних систем автоматизованого проектування та розрахунку (САПР), зокрема Wokwi, у процесі моделювання та розробки електронних пристроїв. Це підтверджується розробкою та тестуванням моделі контролю параметрів середовища в замкнутій системі.

2. Проведено огляд традиційних та онлайн САПР для розробки електронних пристроїв, виконано порівняння цих систем за ключовими при виборі САПР для роботи характеристиками.

3. Робота підкреслює переваги використання онлайн САПР, таких як Wokwi, які забезпечують гнучкість, широкий спектр інструментів для моделювання та доступність.

3. Показано простоту використання сучасних онлайн-САПР для проектування електронних систем. Зокрема Wokwi надає можливість глибшого занурення в процеси проектування та розробки, без необхідності застосування фізичного обладнання або навіть потужного комп'ютера, що дозволяє знизити поріг входження в професію та отримувати навички розробки при обмеженому бюджеті.

4. Показані обмеження онлайн-САПР для моделювання електронних пристроїв, зокрема залежність від інтернет-підключення та обмеженість у реалістичності симуляцій. Це вказує на потребу подальшого розвитку та вдосконалення таких САПР для більш ефективного відтворення складних електронних систем.

5. Дана робота демонструє, як САПР сприяє інноваційності та творчому підходу в розробці електронних систем. Використання таких платформ, як Wokwi, сприяє реалізації складних та інноваційних проектів, що має велике значення для прогресу людства у галузі електроніки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барандич К.С., Подолян О.О., Гладський М.М. Системи автоматизованого проєктування: конспект лекцій: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізації «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 97 с.
2. "Electronic design automation." Wikipedia. Доступно на: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_design\\_automation](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_design_automation). Дата звернення: 12.11.2023.
3. "A brief overview of the history of CAD." Shapr3D. Доступно на: <https://www.shapr3d.com/history-of-cad/brief-overview-of-the-history-of-cad>. Дата звернення: 12.11.2023.
4. "Timeline of Computer History." Time.Graphics. Доступно на: <https://time.graphics/it/period/188597>. Дата звернення: 12.11.2023.
5. "Sketchpad." IEEE Spectrum. Доступно на: <https://spectrum.ieee.org/sketchpad>. Дата звернення: 12.11.2023.
6. "AutoCAD." Wikipedia. Доступно на: <https://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>. Дата звернення: 12.11.2023.
7. "OrCAD." Wikipedia. Доступно на: <https://en.wikipedia.org/wiki/OrCAD>. Дата звернення: 12.11.2023.
8. "Generative Design." Autodesk. Доступно на: <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design>. Дата звернення: 12.11.2023.
9. "NI Multisim." Wikipedia. Доступно на: [https://en.wikipedia.org/wiki/NI\\_Multisim](https://en.wikipedia.org/wiki/NI_Multisim). Дата звернення: 12.11.2023.
10. "Офіційний сайт Multisim." Доступно на: <https://www.ni.com/en/shop/electronic-test-instrumentation/application-software-for-electronic-test-and-instrumentation-category/what-is-multisim.html>. Дата звернення: 23.11.2023.

11. "Proteus Design Suite." Wikipedia. Доступно на: [https://en.wikipedia.org/wiki/Proteus\\_Design\\_Suite](https://en.wikipedia.org/wiki/Proteus_Design_Suite). Дата звернення: 12.11.2023.
12. "Офіційний сайт Proteus Design Suite." Доступно на: <https://www.labcenter.com/>. Дата звернення: 23.11.2023.
13. "Tinkercad." Wikipedia. Доступно на: <https://en.wikipedia.org/wiki/Tinkercad>. Дата звернення: 12.11.2023.
14. "Офіційний сайт Tinkercad." Доступно на: <https://www.tinkercad.com/dashboard>. Дата звернення: 12.11.2023.
15. Пилєва О.О. "Технології дистанційного навчання робототехніки у закладах фахової передвищої освіти." Освітня робототехніка: зб. наук. пр. за матеріалами II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Освітня робототехніка», 14 квітня 2022 р., Дніпро, 2022, с. 37-41.
16. Кучерук В., Кулаков П., Ліман В. "Онлайн-сервіс Wokwi як симулятор мікропроцесорних систем." Measuring And Computing Devices In Technological Processes. 2023. Вип. 2, с. 153-158.
17. "Офіційний сайт Wokwi." Доступно на: <https://wokwi.com/>. Дата звернення: 12.11.2023.
18. "Tinkercad versus Wokwi Arduino Simulator 2022." Hackster.io. Доступно на: <https://www.hackster.io/Hack-star-Arduino/tinkercad-versus-wokwi-arduino-simulator-2022-5ab08d>. Дата звернення: 12.11.2023.
19. "ESP32." Espressif Systems. Доступно на: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. Дата звернення: 12.11.2023.
20. "DHT22 Datasheet." SparkFun Electronics. Доступно на: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>. Дата звернення: 12.11.2023.