

УДК 519.876.5

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2026-1-1>

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНИХ СИМУЛЯТОРІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ КОМПОНЕНТІВ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Баранюк Олександр Філімонович,

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри інформаційних та цифрових технологій

Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка

ORCID ID: 0000-0003-1151-0092

Соменко Дмитро Вікторович,

кандидат педагогічних наук, доцент,

старший викладач кафедри інформаційних та цифрових технологій

Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка

ORCID ID: 0000-0001-6426-1507

Scopus-Author ID: 57212457995

У статті розглядається актуальна проблема підготовки кваліфікованих фахівців у галузях робототехніки та інтернету речей (IoT). Пропонується використання віртуальних лабораторій як ефективної відповіді на сучасні виклики освітнього процесу: високу вартість фізичного обладнання, обмеження доступу до лабораторій, дистанційне навчання. Використання програмних симуляторів дає можливість створити безпечне, інтерактивне й ефективне середовище для формування практичних навичок майбутніх фахівців.

У роботі здійснено аналіз можливостей симуляторів Tinkercad, Wokwi, UnoArduSim, SimulIDE та обґрунтування доцільності їх інтеграції в освітній процес. Відзначається, що вибір конкретного засобу залежить від навчальних завдань. Tinkercad рекомендовано для початківців завдяки простоті та блокуванню програмуванню. Wokwi визначено як кращий засіб для розробки IoT-проектів через підтримку емуляції Wi-Fi-з'єднання. На особливу увагу заслуговує симулятор SimulIDE, який вирізняється зручним редактором схем, великою бібліотекою компонентів, підтримкою широкого спектра мікроконтролерів, можливістю моделювання аналогових і цифрових схем у реальному часі. Симулятор надає потужні вимірювальні інструменти, редактор коду та налагоджувач для покрокового виконання коду.

Практична частина статті містить приклади моделювання датчиків температури, схем керування двигунами та мережевих вузлів, що підтверджує ефективність симуляторів як засобу віртуального прототипування. Автори доходять висновку, що використання симуляторів не лише компенсує відсутність фізичного обладнання, а й стає потужним методичним інструментом, що покращує результати навчання та розвиває навички вирішення проблем у межах STEM-освіти.

Ключові слова: освітня робототехніка, STEM-освіта, віртуальна лабораторія, Інтернет речей (IoT), симулятор, Arduino, SimulIDE.

Baraniuk Oleksandr, Somenko Dmytro. Usage of Software Simulators for Modeling Components of Robotic Systems and the Internet of Things

The article considers the problem of training qualified specialists in the fields of robotics and the Internet of Things (IoT). The use of virtual laboratories is proposed as an effective response to modern challenges of the educational process: the high cost of physical equipment, limited access to laboratories, distance learning. The use of software simulators allows to create a safe, interactive and effective environment for the formation of practical skills of future specialists.

The paper analyzes the capabilities of the Tinkercad, Wokwi, UnoArduSim, SimulIDE simulators and justifies the feasibility of their integration into the educational process. It is noted that the choice of a specific tool depends on the educational tasks. Tinkercad is recommended for beginners due to its simplicity and block programming. Wokwi is identified as the best tool for developing IoT projects due to its support for emulating Wi-Fi connections. The SimulIDE simulator deserves special attention, which is distinguished by a convenient circuit editor, a large library of components, support for a wide range of microcontrollers, and the ability to simulate analog and digital circuits in real time. The simulator provides powerful measurement tools, a code editor, and a debugger for step-by-step code execution.

The practical part of the article contains examples of modeling temperature sensors, motor control circuits, and network nodes, which confirms the effectiveness of simulators as a means of virtual prototyping. The authors conclude that the use of simulators not only compensates for the lack of physical equipment, but also becomes a powerful methodological tool that improves learning outcomes and develops problem-solving skills within STEM education.

Key words: educational robotics, STEM education, virtual laboratory, Internet of Things (IoT), simulator, Arduino, SimulIDE.

Вступ. Стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій докорінно трансформує сучасний інженерний ландшафт. Робототехнічні системи та технології інтернету речей (IoT) стають невід'ємною частиною промисловості, аграрного сектору, розумної інфраструктури міст та побуту. У таких умовах зростає попит на висококваліфікованих фахівців, здатних проєктувати, налаштовувати й обслуговувати складні апаратно-програмні комплекси. Це, зі свого боку, висуває нові вимоги до закладів вищої освіти, які мають забезпечити фундаментальну практичну підготовку майбутніх інженерів.

Традиційно вивчення схемотехніки, мікропроцесорних систем і робототехніки базувалося на роботі з фізичним лабораторним обладнанням. Проте сучасні реалії освітнього процесу диктують нові умови. По-перше, вартість сучасної елементної бази та вимірювальних приладів є досить високою, що ускладнює забезпечення лабораторій потрібним обладнанням. По-друге, в умовах сьогодення критичним є вимушений перехід на змішану та дистанційну форми навчання через пандемію чи безпекову ситуацію.

Відсутність фізичного доступу студентів до лабораторних стендів створює розрив між теоретичними знаннями та практичними навичками. У зв'язку із цим постає потреба у використанні віртуальних лабораторій – програмних рішень, які емулюватимуть роботу контролерів, сенсорів та виконавчих механізмів. Актуальним стає питання вибору та методичного обґрунтування конкретних середовищ моделювання, здатних повноцінно відтворити архітектуру досліджуваної системи у віртуальному просторі.

Мета роботи полягає в аналізі функціональних можливостей програмних симуляторів для моделювання компонентів робототехнічних систем та інтернету речей та обґрунтуванні доцільності їх інтеграції в освітній процес для забезпечення якості практичної підготовки в умовах дистанційного навчання.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання застосування інформаційно-комунікаційних та STEM-технологій у навчальному процесі та формування компетентностей майбутніх фахівців постійно цікавлять вітчизняних і зарубіжних дослідників. Зокрема, цими питаннями займалися такі вчені, як М. І. Жалдак, Н. В. Морзе, М. А. Бойко, Ю. О. Жук, Д. Міщук, В. Кучерук, І. В. Сальник, Дж. П. Агравал, М. Ітон, Х.-А. Марін-Марін та багато інших [3; 6].

Дослідники відзначають, що одним із напрямів і засобів сучасної STEM-освіти стає робототехніка [6]. Відповідно формується і впроваджується в освітній процес новий напрям – «освітня робототехніка», який інтегрує знання зі STEM-предметів і відповідає ідеям випереджального навчання. Вивчення робототехніки покращує навчальну мотивацію, розвиває навички вирішення проблем, підвищує інтерес до проведення досліджень, сприяє розвитку творчого мислення [6]. Серед сучасних цифрових інструментів вчителі проявляють підвищений інтерес до віртуальних лабораторій та програмних засобів моделювання для проведення навчального експерименту як важливої складової освітнього процесу [3].

Ряд дослідників зосереджені на проблемах моделювання елементів робототехнічних систем і використання симуляторів у навчальному процесі [1; 2; 5; 7; 9; 10; 13–15]. Віртуальні лабораторії (симулятори) використовують програмні моделі лабораторного обладнання і дають можливість здобувачам освіти виконувати лабораторні дослідження у віртуальному середовищі.

Науковці [10] відзначають, що використання симульованого Arduino відкриває нові можливості, які можуть значно покращити результати навчання: можливість дистанційного навчання; підтримка продовжуваних проєктів; кращі засоби покрокового виконання й налагодження. Використання симуляторів не має жодного негативного впливу на студентів, натомість покращуються показники фізичного навантаження та часу, необхідного для вирішення вправ. Як переваги віртуальних симуляторів відзначають доступність, вартість, безпечність, наочність, інтерактивність, індивідуалізацію процесу навчання, підвищення пізнавальної активності [7].

Ряд науковців приділяють увагу аналізу функціональних особливостей симуляторів. Так, автори досліджень [5; 14] проводять порівняльний аналіз Arduino-симуляторів Wokwi та Tinkercad. Зокрема, Tinkercad рекомендується для початківців, бо має простий інтерфейс, блокове та текстове програмування, хоча й обмежене у виборі компонентів та бібліотек. Симулятор Wokwi підтримує ширший спектр плат (ESP32, STM32, RPi Pico), має менеджер бібліотек, засоби налагодження та здатний емулювати WiFi-мережу для підключення до зовнішніх ресурсів через протокол MQTT.

У роботі [13] описують досвід використання різних типів симуляторів роботів у курсах із робототехніки. Зокрема, згадуються симулятори Arduino (Wokwi, Tinkercad, UnoArduSim), CAD-системи (SolidWorks, FreeCAD, RoboDK) та фізичні симулятори (Gazebo, Webots, CoppeliaSim, MotoSim EG-VRC). Перевагами таких засобів є доступність для студентів, контрольоване безпечне середовище, гнучкість щодо темпів навчання й налаштування, інтерактивність та реалістичність моделей. Дослідник [1] пропонує, крім Tinkercad і UnoArduSim, використовувати такі професійні інструменти, як Autodesk Eagle та Proteus від Labcenter Electronics.

Автори [4; 8; 13] відзначають, що програмні засоби вирішують ряд проблем, пов'язаних із фізичним лабораторним обладнанням: висока вартість та обмежена кількість робочих місць, безпека, доступність; надають дистанційний доступ до обладнання, що особливо важливо в умовах пандемії та воєнного стану.

Аналіз публікацій показує, що розглянуті дослідження зосереджені на огляді й аналізі використання програмних симуляторів в освітніх програмах, пов'язаних з електротехнікою, електронікою, робототехнікою, інтернетом речей (IoT) та мікропроцесорними системами. Центральну увагу приділено порівнянню безплатних онлайн-сервісів Wokwi та Tinkercad як інноваційних інструментів для проєктного та практичного навчання, зокрема з використанням платформ Arduino та ESP32 [5; 13; 14]. Автори підкреслюють, що симулятори пропонують безпечну, гнучку й економічно вигідну альтернативу фізичним лабораторіям, сприяючи засвоєнню навичок у рамках STEM-освіти. Усі джерела підтверджують ефективність симуляційного навчання, особливо в умовах дистанційної роботи.

Разом із тим значно менше уваги приділяється аналізу можливостей і застосуванню безплатного симулятора SimulIDE.

Матеріали та методи. У процесі дослідження використовувалися онлайн-симулятори Arduino Tinkercad та Wokwi, десктопні додатки UnoArduSim та SimulIDE, середовище розробки програм Arduino IDE.

У цій роботі використані загальнонаукові методи дослідження: аналіз, синтез, порівняння й узагальнення. Метод аналізу використаний для огляду літературних джерел, виявлення функціональних можливостей симуляторів та середовищ розробки для Arduino. Метод порівняння застосований для порівняльного аналізу вибраних онлайн- та офлайн-симуляторів. Метод синтезу використаний під час розробки прикладів застосування симуляторів для вивчення компонентів робототехнічних систем. Метод узагальнення застосовувався для обробки результатів аналізу публікацій та формулювання загальних висновків.

Результати. Наведений вище аналіз джерел і публікацій з теми дослідження показав, що існує ряд обмежень у разі використання реального лабораторного обладнання в навчальному процесі, основними з яких є вартість, безпека та доступність [4; 14].

Ефективним вирішенням цієї проблеми є інтеграція у навчальний процес спеціалізованих програмних середовищ (симуляторів), як-от Tinkercad, Wokwi, SimulIDE, Proteus та інших. Використання програмних симуляторів дає можливість перенести етап макетування (прототипування) та налагодження пристроїв у віртуальне середовище. Це надає студентам такі переваги,

як доступність до широкої гами компонентів, безпека експериментів, унаочнення процесів у схемах [1; 4; 10; 14].

Використання симуляторів у курсах «Робототехніка» та «Інтернет речей (IoT)» є доцільним для тем, де важливо змоделювати й унаочнити логіку взаємодії компонентів, перевірити програмний код або дослідити складні системні процеси без ризику пошкодження обладнання. Розглянемо ряд ключових тем і відповідних пристроїв, для яких програмна симуляція є найбільш ефективною (табл. 1).

Таблиця 1

Сфери застосування програмних симуляторів у курсі робототехніки

Тема	Компоненти	Доцільність
1. Основи схемотехніки та цифрової електроніки		
Основи електротехніки, електроніки, цифрової схемотехніки	Резистори, діоди, транзистори, логічні елементи, цифрові мікросхеми	Моніторинг електричних схем, безпечне моделювання перевантажень та коротких замикань, дослідження базових електронних компонентів та цифрових схем
2. Програмування мікроконтролерів		
Керування портами введення-виведення (GPIO), переривання, таймери/лічильники	Arduino (Uno, Nano, Mega), ESP32, мікроконтролери PIC та AVR (ATmega328p)	Наявність віртуальних налагоджувачів (debugger), покрокове виконання, спостереження (watcher) за змінними, регістрами, комітками пам'яті
3. Сенсорні мережі та збір даних		
Сигнали аналогових та цифрових датчиків, фільтрації шумів, калібрування сенсорів	Датчики температури, вологості, відстані, освітленості руху, перешкод, гіроскопи, акселерометри	Імітація змін навколишнього середовища за допомогою віртуальних елементів керування (повзунків) без необхідності реальних фізичних змін
4. Керування виконавчими механізмами		
Широтно-імпульсна модуляція (PWM), керування швидкістю та напрямком обертання двигунів, позиціонування	Двигуни постійного струму, сервоприводи, крокові двигуни, драйвери двигунів	Моніторинг форми електричних сигналів на віртуальних вимірювальних приладах (осцилограф, логічний аналізатор)
5. Пристрої взаємодії з контролером		
Введення команд користувача, виведення текстової та графічної інформації, обмін даними через послідовні порти	Кнопки, клавіатури, джойстики, енкодери, LED-індикатори та матриці, символічні та графічні дисплеї	Використання широкого асортименту пристроїв введення-виведення без необхідності придбання та монтажу складних схем
6. Мережеві технології та протоколи		
Підключення до мережі Інтернет, протоколи HTTP та MQTT, взаємодія з хмарними сервісами	Модулі ESP32	Емуляція Wi-Fi з'єднання (Wokwi) в браузері та обмін даними з хмарними сервісами (Adafruit IO, Thingspeak) без фізичного модуля

Проведемо більш детальний аналіз кількох симуляторів (Tinkercad, Wokwi, SimulIDE, UnoArduSim, придатних для моделювання наведених вище компонентів. Названі симулятори мають широкий асортимент периферійних пристроїв, які можна поділити на кілька основних категорій (табл. 2).

Таблиця 2

Основні категорії віртуальних пристроїв програмних симуляторів

Категорія	Приклади пристроїв	
Контролери	MCU	AVR, Arduino, ESP-32, STM32, RPi Pico тощо
Введення	Input	кнопки, клавіатури, потенціометри тощо
Виведення	Output	LED, двигуни, зумери тощо
Датчики	Sensor	температури, вологості, світла, відстані тощо
Дисплеї	Display	7-seg LED, LED matrix, LCD, OLED тощо
Інструменти	Tools	генератор, мультиметр, осцилограф та ін.

Крім цього, зустрічаються деякі інші категорії компонентів: пасивні елементи (резистори, конденсатори, котушки); активні елементи (транзистори, операційні підсилювачі, стабілізатори тощо); логічні елементи та цифрові схеми (логічні ІС, тригери, регістри та ін.), джерела живлення (батареї, джерела напруги чи струму).

Кількість пристроїв, доступних для використання в різних симуляторах, вимірюється десятками або навіть сотнями. Точну кількість елементів визначити складно через те, що різні симулятори мають різні набори категорій, а деякі з компонентів часто підпадають під різні категорії в різних симуляторах, тому зазвичай обмежуються приблизними оцінками. Спробуємо здійснити порівняльний аналіз наборів компонентів обраних симуляторів.

Таблиця 3

Розподіл віртуальних пристроїв симуляторів за категоріями

Категорія	Wokwi	Tinkercad	SimulIDE	UNOAtduSim
Контролери VCU	7	3	4+68*	2
Введення Input	8	7	15	3
Виведення Output	8	9	6	7
Датчики Sensor	11	13	8	–
Дисплеї Display	15	9	25	4
Інструменти Tools	1	3	11	4
Всього	50	44	69+68	20

* 4 плати Arduino плюс 68 мікроконтролерів

Загалом симулятор Wokwi підтримує близько 70 компонентів, Tinkercad – майже 100 компонентів, SimulIDE – близько 400 компонентів, а UnoArduSim – лише трохи більше двох десятків. З наведеної таблиці видно, що серед основних категорій компонентів явно виділяється SimulIDE. Переважно завдяки широкому набору мікроконтролерів, серед яких 4 плати Arduino, мікроконтролери AVR (ATtiny, ATmega), PIC, 8051, Motorola 65xx, Zilog Z80.

Усі розглянуті симулятори підтримують найбільш популярну плату ArduinoUno. Серед інших плат – Arduino Nano (Wokwi, SimulIDE) та Arduino Mega (Wokwi, SimulIDE, UnoArduSim). Wokwi також підтримує ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico, а Tinkercad додатково підтримує micro:bit.

Крім базових компонентів, симулятори підтримують ряд компонентів специфічних категорій. Так, Tinkercad та SimulIDE підтримують набір активних і пасивних компонентів, серед яких резистори, конденсатори, діоди, транзистори. Wokwi, Tinkercad, SimulIDE мають набір логічних елементів та інших цифрових мікросхем, у SimulIDE таких компонентів понад дві сотні.

Tinkercad та SimulIDE підтримують ряд джерел живлення, причому в SimulIDE це достатньо функціональні блоки живлення з фіксованими та змінними значеннями, включно з джерелами напруги та струму. Слід відзначити наявність вимірювальних пристроїв у деяких симуляторах. Найкращі з них у Tinkercad (мультиметр, функціональний генератор та осцилограф) та SimulIDE (пробник, вольтметр, амперметр, частотомір, осцилограф, логічний аналізатор). У Wokwi та UnoArduSim наявні лише логічні аналізатори.

Кожен симулятор по-своєму унікальний, тому підходить для різних задач. Tinkercad найчастіше рекомендують для новачків завдяки простоті й наявності блокового програмування. Охоплює переважно базові компоненти для відносно простих проєктів.

В UnoArduSim [11] досить скромні можливості з погляду набору периферійних пристроїв і бібліотек, проте є вбудований редактор коду з підсвічуванням синтаксису, швидкий компілятор, покроковий налагоджувач і спостерігач програмних змінних, що дуже зручно для

тестування програм. Працює з файлами коду .ino і готовими прошивками .hex. Особливо цікавий завдяки наявності програмного емулятора двоколісного робота-маніпулятора Q2WDBotSim. Він дає можливість моделювати виконання програми керування роботом DFRobot 2WD в реальному часі без наявної фізичної мобільної платформи. Обладнаний двома двигунами коліс, енкодерами пройденого шляху, датчиками відстані й перешкод, датчиками лінії, маніпулятором типу «клешня». Можна підключати контакти плати Arduino Uno до периферійних пристроїв та тестувати програми керування ботом у віртуальному ігровому майданчику PlayField.

Wokwi підходить для користувачів середнього та просунутого рівня. Має широкий набір датчиків, індикаторів та дисплеїв, підтримує імпорт бібліотек Arduino, редактор коду з функцією автодоповнення (пропозиції) операторів мови Arduino. Має достатньо добру підтримку у вигляді онлайн-документації, активного форуму Discord та LinkedIn-спільноти. Дає можливість створювати проекти інтернету речей із використанням віртуальної Wi-Fi-мережі та доступом до реальних мережевих сервісів інтернету через протоколи MQTT, HTTP чи WebSocket.

Нашу увагу привернув безплатний десктопний симулятор SimulIDE з можливістю моделювання електричних, аналогових та цифрових електронних схем у реальному часі (Real-time simulation), багатим набором мікроконтролерів і плат Arduino, периферійних пристроїв введення-виведення й відображення інформації, базовим набором датчиків та виконавчих пристроїв, джерелами живлення та вимірювальними інструментами. На відміну від професійних середовищ на зразок Eagle, Multisim, Proteus, які містять тисячі моделей реальних електронних компонентів, SimulIDE має базовий набір універсальних компонентів із можливістю налаштування їх параметрів. Існує можливість створення власних компонентів.

Симулятор SimulIDE має вбудований редактор коду з підсвічуванням синтаксису, використовує реальний компілятор коду та бібліотеки від Arduino IDE, вбудований налагоджувач із можливістю покрокового виконання, працює в режимі симуляції реального часу, підтримує .ino-файли від Arduino IDE або готові hex-прошивки. Простий у використанні редактор схем дає змогу будувати як найпростіші електричні чи електронні схеми, так і достатньо складні схеми на основі мікропроцесорів.

Практика показує, що немає єдиного універсального підходу й симулятора на всі випадки начальних завдань. У кожному конкретному завданні слід вибрати найбільш відповідний засіб моделювання. Зазначимо, що практично всі розглянуті симулятори достатньо добре підходять для моделювання роботи датчиків, пристроїв введення та виведення інформації, включно з дисплеями. Програє в цьому випадку лише UnoArduSim, який взагалі не має датчиків, але він з'явився в нашому наборі завдяки іншій унікальній особливості, а саме можливості моделювання роботи реального двоколісного робота.

Розглянемо кілька прикладів моделювання.

Приклад 1. Змоделювати роботу датчика температури на основі NTC-терморезистора, побудованого за схемою подільника напруги. Параметри елементів схеми: $R1(25^\circ) = 10 \text{ k}\Omega$; $V = 3940$; $R2 = 10 \text{ k}\Omega$. Побудувати залежність вихідної напруги схеми від температури в діапазоні від 0 до 50 °C з кроком 5 °C.

Симулятори Tinkercad і UnoArduSim не мають засобів для моделювання такої задачі. Wokwi має готовий модуль на основі терморезистора з фіксованими значеннями опорів (10 kΩ), хоча можна змінити значення параметра V. Використаємо симулятор SimulIDE. Схему датчика та модель в SimulIDE показано на рис 1. Наведена схема дає можливість легко побудувати статичну характеристику датчика.

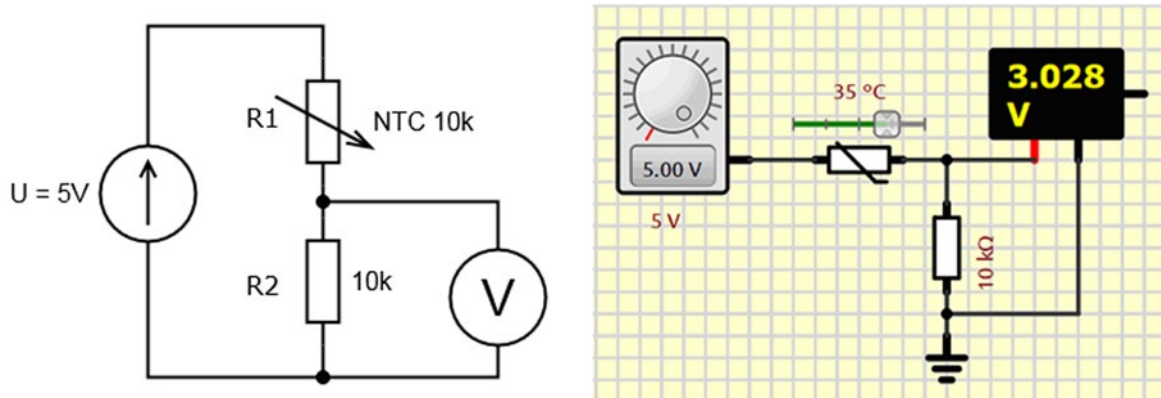


Рис. 1. Схема дослідження та модель датчика температури

Симулятор SimulIDE дає змогу задати довільні значення обох резисторів подільника й налаштувати ряд інших параметрів; мінімальне, поточне та максимальні значення температури, крок зміни температури та параметр B терморезистора (рис. 2). Додатково можна налаштувати вигляд і розмір повзунка (Dial) для зміни температури.

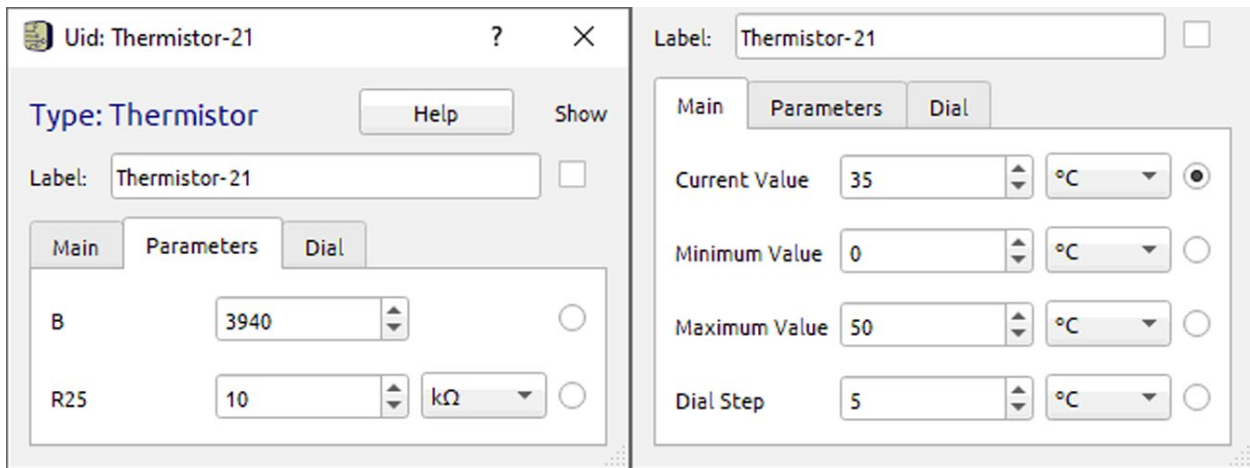


Рис. 2. Налаштування параметрів терморезистора

Приклад 2: Змодельувати схему керування двигуном постійного струму (ДПС): 1) схема реверсу ДПС за допомогою Н-моста на польових транзисторах; 2) схема ШІМ-керування швидкістю ДПС з використанням драйвера L293D.

Wokwi не має двигуна постійного струму. Tinkercad має ДПС, транзистори, блок живлення, генератор сигналів і драйвер L293D, у ньому можна змодельувати задачу керування ДПС, хоча збирання більш-менш складної схеми в Tinkercad потребує неабиякого терпіння. В UnoArduSim є ДПС з редуктором і вбудованим драйвером, ним можна керувати за допомогою Arduino, але не можна змодельувати й дослідити власну схему.

1) Для цієї задачі найкраще підходить SimulIDE. Тут є всі необхідні компоненти та інструменти, а збирати та змінювати схему досить просто. У SimulIDE є два універсальні типи транзисторів: біполярний (BJT) і польовий (MOSFET). Для них можна вибрати тип (PNP чи NPN, N- чи P-канал) і налаштувати кілька основних параметрів, як-от коефіцієнт підсилення для біполярних, порогову напругу затвору й опір каналу для польового. Тому змодельувати й дослідити схему Н-моста досить просто (рис. 3).

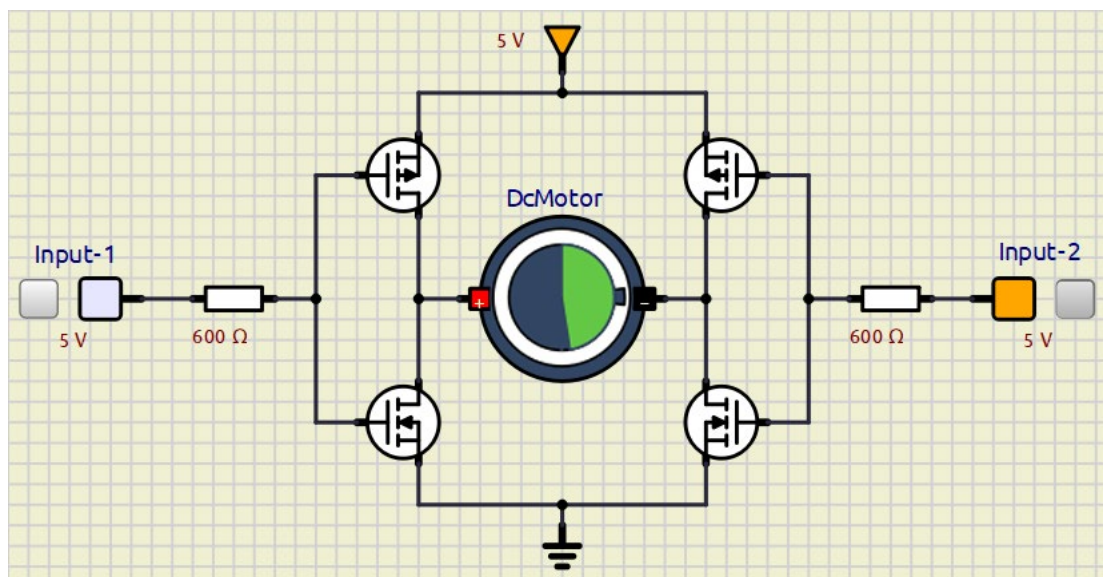


Рис. 3. Модель Н-моста в SimulIDE

2) Схему для керування швидкістю ДПС на основі ШІМ-сигналу в SimulIDE можна змоделювати як з використанням контролера Arduino, так і без нього. ШІМ-модулятор можна зібрати на основі генератора пилоподібної напруги, регульованого джерела напруги та компаратора. Драйвер двигуна L293D забезпечить реверсний режим, а його вхід дозволу EN використовується для подачі ШІМ-сигналу (рис. 4).

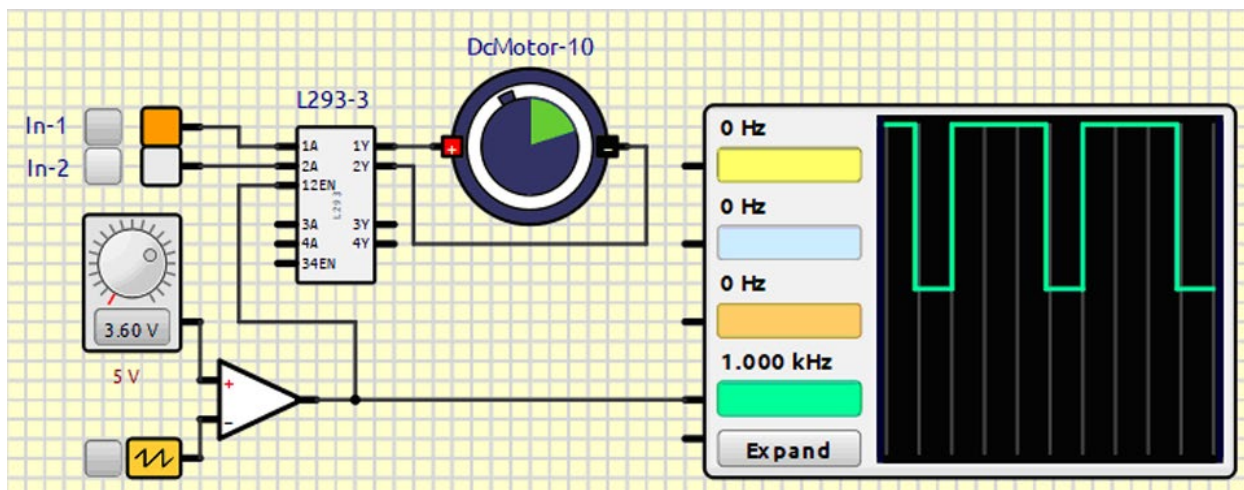


Рис. 4. Керування швидкістю двигуна в SimulIDE

Приклад 3: Змоделювати роботу пристрою інтернету речей (IoT-вузла). У цьому завданні можливі варіанти: 1) зчитування даних із сенсора, виведення їх на дисплей і відправка на віддалений сервер; 2) одержання даних з вебсервісу та виведення їх на дисплей.

Для виконання цього завдання беззаперечним лідером є Wokwi завдяки наявності контролера ESP32 та можливості емулювати Wi-Fi з'єднання прямо в браузері та надсилати дані на реальні сервери (Adafruit IO або Thingspeak) без реального фізичного модуля. Як приклад, можна навести проєкт, у якому з онлайн-сервісу OpenWeather отримуються дані про погоду в певній місцевості й виводяться на дисплей або в послідовний монітор (рис. 5).

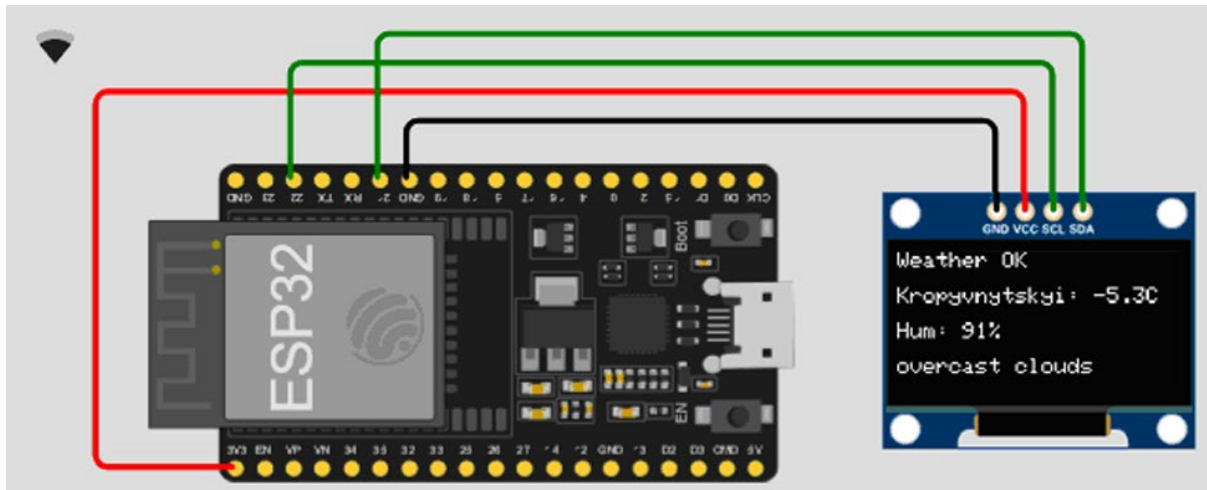


Рис. 5. Моделювання мережевого вузла IoT у Wokwi

Отже, використання програмних симуляторів є не просто тимчасовою альтернативою фізичним лабораторіям, а потужним засобом прототипування та методичним інструментом, що підвищує якість освіти в умовах дистанційного навчання.

Висновки. Використання програмних симуляторів є важливою складовою сучасної інженерної освіти, забезпечує якісну практичну підготовку в умовах дистанційного навчання та високої вартості фізичного обладнання. Завдяки симуляторам здобувачі освіти отримують навички проектування, збирання, програмування й налагодження робототехнічних систем та їх компонентів. Вибір конкретного середовища залежить від навчальних завдань: Tinkercad ідеальний для початківців, Wokwi є лідером у розробці IoT-проектів завдяки емуляції Wi-Fi, UnoArduSim має готову модель двокілісного мобільного робота. Симулятор SimulIDE пропонує зручний редактор схем, велику бібліотеку компонентів, засоби програмування й налагодження Arduino-проектів, функціональні вимірювальні прилади, що робить його кращим вибором для навчальних завдань та інженерної розробки, зокрема для вивчення основ схемотехніки, моделювання та дослідження датчиків, схем керування двигунами та інших електронних схем.

Симулятори дають можливість безпечно, інтерактивно й ефективно здійснювати віртуальне прототипування та налагодження систем. Отже, їх інтеграція в освітній процес не лише компенсує брак доступу до лабораторій, а й стає потужним методологічним інструментом для підвищення якості підготовки майбутніх фахівців у галузі робототехніки та інтернету речей.

Література:

1. Базиль С. М. Застосування симуляторів Arduino в освітньому процесі. *Освіта, наука та виробництво: розвиток та перспективи* : матеріали ІХ Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 25 квітня 2024 р. Суми : Сумський державний університет, 2024. С. 126–129.
2. Баранюк О. Ф. Програмні симулятори як основа проблемних ситуацій у процесі навчання низькорівневого програмування. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. Кропивницький, 2018. Вип. 169. С. 10–14.
3. Гриневич Л. М., Морзе Н. В., Вембер В. П., Бойко М. А. Роль цифрових технологій у розвитку екосистеми STEM-освіти. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2021. Том 83. № 3. С. 1–25. DOI: 10.33407/itlt.v83i3.4461.
4. Крамар С., Шишкіна М. Методичні особливості використання Arduino на платформі Tinkercad у середовищі неформальної освіти вчителів. *Фізико-математична освіта*. 2024. Т. 39 № 5. С. 27–33. DOI: 10.31110/fmo2024.v39i5-04.

5. Кучерук В., Кулаков П., Ліман В. Онлайн-сервіс WOKWI як симулятор мікропроцесорних систем. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2023. № 2. С. 153–158. DOI: 10.31891/2219-9365-2023-74-19.
6. Морзе Н. В., Струтинська О. В., Умрик М. А. Освітня робототехніка як перспективний напрям розвитку STEM-освіти. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2018. Вип. 5. С. 178–187. DOI: 10.28925/2414-0325.2018.5.178187.
7. Оленюк О., Семенишена Р., Дуганець В. Ефективність використання віртуальних симуляторів у Stem-освіті. *Сучасна освіта України: проблеми, досвід, перспективи* : монографія. Латвія : Baltija Publishing, 2024. С. 115–123. DOI: 10.30525/978-9934-26-422-1-12.
8. Соменко О. О., Соменко Д. В. Вільнопоширюване апаратне та програмне забезпечення для організації навчально-дослідницької роботи майбутніх вчителів природничо-математичних дисциплін. *Наукові записки. Серія «Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти»*. Кропивницький, 2017. Вип. 11. Ч. 1. С. 122–128.
9. Цирульник С. М., Цирульник М. С., Ткачук В. М. Прототипування проекту IoT у сервісі Wokwi : матеріали XVI Міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах (KVCC-2022)», м. Вінниця, 15–17 лист. 2022 р. Вінниця, 2022. С. 1–6. DOI: 10.31649/mccs2022.03.
10. An arduino simulator in classroom-a case study / P. F. Gonçalves, J. Sá, A. Coelho, J. Durães. *First International Computer Programming Education Conference (ICPEC 2020)*. Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum für Informatik, 2020. Vol. 81. P. 12:1–12:12. DOI: 10.4230/OASICS.ICPEC.2020.12.
11. Bhowmick S. UnoArduSim : A Simulator to Learn Arduino Programming and Debugging Codes without Arduino Board. *Circuit Digest*. 2021. URL: <https://circuitdigest.com/tutorial/unoardusim-a-simulator-to-learn-arduino-programming-and-debugging-without-arduino-board>.
12. Dinale L., Bertasius R., Khaled S. Best Arduino Simulators (Online & Offline): Our 10 Picks. 2025. URL: <https://all3dp.com/2/best-arduino-simulators-online-offline/> (Updated Jan 12, 2025).
13. Efremova S., Mishchuk D., Horbatyuk E. Review and analysis of software simulators for robotic information systems. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2024. № 103. С. 71–85, DOI: 10.32347/gbdmm.2024.103.0501.
14. Empowering IoT Education Utilizing Free Online Arduino Simulators / A. Atanasković, T. Dimitrijević, N. M. Plić, M. Čabarkapa. *2024 59th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST)*, Sozopol, 2024. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICEST62335.2024.10639688.
15. Shvets D., Karabut N. Use the power of Arduino simulators to improve the effectiveness of IoT educating. *Вісник Криворізького національного університету*. Кривий Ріг, 2023. Том 21, № 1. С. 34–37. DOI: 10.31721/2306-5451-2023-1-56-34-37.

References:

1. Bazyl, S.M. (2024). Zastosuvannia symulatoriv Arduino v osvitnomu protsesi [Using Arduino simulators in the educational process]. *Osvita, nauka ta vyrobnytstvo: rozvytok ta perspektyvy: materialy IX Vseukrainskoi naukovo-metodychnoi konferentsii*, 126–129 [in Ukrainian].
2. Baraniuk, O.F. (2018). Prohramni symulatory yak osnova problemnykh sytuatsii u protsesi navchannia nyzkorivnevomu prohramuvanniu [Software simulators as a basis for problem situations in the process of learning low-level programming]. *Naukovi zapysky. Seriya: Pedagogichni nauky*, (169), 10–14 [in Ukrainian].
3. Hrynevych, L.M., Morze, N.V., Vember, V.P., Boiko, M.A. (2021). Rol tsyfrovoykh tekhnolohii u rozvytku ekosystemy STEM-osvity [The role of digital technologies in the development of the STEM education ecosystem]. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia*, 83 (3), 1–25. DOI: 10.33407/itlt.v83i3.4461 [in Ukrainian].
4. Kramar, S., Shyshkina, M. (2024). Metodychni osoblyvosti vykorystannia Arduino na platformi Tinkercad u seredovyskhi neformalnoi osvity vchyteliv [Methodological features of using Arduino on the Tinkercad platform in the environment of informal teacher education]. *Fizyko-matematychna osvita*, 39 (5). 27–33. DOI: 10.31110/fmo2024.v39i5-04 [in Ukrainian].
5. Kucheruk, V. Kulakov, P., Liman, V. (2023). Onlain-servis WOKWI yak symulator mikroprotsesornykh system [WOKWI online service as a simulator of microprocessor systems]. *Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh*, (2), 153–158. DOI: 10.31891/2219-9365-2023-74-19 [in Ukrainian].
6. Morze, N.V., Strutyńska, O.V., Umryk, M.A. (2018). Osvitnia robototekhnika yak perspektyvnyi napriam rozvytku STEM-osvity [Educational robotics as a promising direction for the development of STEM education]. *Vidkryte osvittne e-seredovyshe suchasnoho universytetu*, (5), 178–187. DOI: 10.28925/2414-0325.2018.5.178187 [in Ukrainian].

7. Oleniuk, O., Semenyshena, R., Duhanets, V. (2024). Efektyvnist vykorystannia virtualnykh symulatoriv u Stem-osviti [The effectiveness of using virtual simulators in STEM education]. *Suchasna osvita Ukrainy: problemy, dosvid, perspektyvy*, 115–123. DOI: 10.30525/978-9934-26-422-1-12 [in Ukrainian].
8. Somenko, O.O., Somenko, D.V. (2017). Vilno-poshyriuvane aparatne ta prohramne zabezpechennia dlia orhanizatsii navchalno-doslidnytskoi roboty maibutnikh vchyteliv pryrodnycho-matematychnykh dystsyplin [Freely distributed hardware and software for the organization of educational and research work of future teachers of natural and mathematical disciplines]. *Naukovi zapysky. Seria: Problemy metodyky fizykomatematychnoi i tekhnolohichnoi osvity, II* (1), 122–128. [in Ukrainian].
9. Tsyrlunyk, S.M., Tsyrlunyk, M.S., Tkachuk, V.M. (2022). Prototypuvannia proektu IoT u servisi Wokwi [IoT project prototyping in the Wokwi service]. *Materialy XVI mizhnarodnoi konferentsii “Kontrol i upravlinnia v skladnykh systemakh (KUSS-2022)”* (pp. 1–6). DOI: 10.31649/mccs2022.03 [in Ukrainian]
10. Gonçalves P.F., Sá J., Coelho A., Durães J. (2020). An arduino simulator in classroom-a case study. *First International Computer Programming Education Conference (ICPEC 2020)*. (81), 12:1–12:12. DOI: 10.4230/OASICS.ICPEC.2020.12.
11. Bhowmick S. (2021). UnoArduSim: A Simulator to Learn Arduino Programming and Debugging Codes without Arduino Board. *Circuit Digest*. URL: <https://circuitdigest.com/tutorial/unoardusim-a-simulator-to-learn-arduino-programming-and-debugging-without-arduino-board>.
12. Dinale, L., Bertasius, R., Khaled, S. (2025). Best Arduino Simulators (Online & Offline): Our 10 Picks. URL: <https://all3dp.com/2/best-arduino-simulators-online-offline/>.
13. Efremova, S., Mishchuk, D., Horbatiuk, E. (2024). Review and analysis of software simulators for robotic information systems. *Hirnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny*, (103), 71–85. DOI: 10.32347/gbdmm.2024.103.0501.
14. Atanasković, A., Dimitrijević, T., Ilić, N.M., Čabarkapa, M. (2024). Empowering IoT Education Utilizing Free Online Arduino Simulators. *2024 59th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST)*. 1–4. DOI: 10.1109/ICEST62335.2024.10639688.
15. Shvets, D., Karabut, N. (2023). Use the power of Arduino simulators to improve the effectiveness of IoT educating. *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu*, 21 (1), 34–37. DOI: 10.31721/2306-5451-2023-1-56-34-37.

Дата першого надходження статті до видання: 30.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 23.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 21.04.2026