3. Creating Your First n8n Workflow: From Telegram to Blog in Minutes. [Electronic resourse]. – Access mode: https://medium.com/@mandeepdhakal11/creating-your-first-n8n-workflow-from-telegram-to-blog-in-minutes-80c05ddb55f3
4. Telegram Bot API. [Electronic resourse]. – Access mode: https://core.telegram.org/bots/api
5. Bot API. [Electronic resourse]. – Access mode: https://grammy.dev/uk/guide/api
6. Self-hosting n8n. [Electronic resourse]. – Access mode: https://docs.n8n.io/hosting/
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://goit.global/ua/articles/ohliad-n8n-konstruktor-avtomatyzatsii-ta-intehratsii/
8. Використання чат-ботів на основі великих мовних моделей у науково-педагогічній діяльності викладачів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/380184525_VIKORISTANNA_CAT-BOTIV_NA_OSNOVI_VELIKIH_MOVNIH_MODELEJ_U_NAUKOVO-PEDAGOGICNIJ_DIALNOSTI_VIKLADACIV

УДК 004.415.2:004.738.5

С.К. Добряк[1], С.С Гурковська[1]
[1]ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, Україна

РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА З ВИКОРИСТАННЯМ WEB-ТЕХНОЛОГІЙ

Анотація. Представлено комплексну платформу віртуального лабораторного стенда, що поєднує емуляцію мікроконтролера AVR, моделі периферійних пристроїв та веб-інтерфейс для інтерактивної взаємодії. Розглянуто архітектуру емулятора, підтримку зовнішніх модулів, клієнт-серверний режим роботи та можливість інтеграції зі середовищем Arduino. Платформа забезпечує відтворення роботи апаратних систем без використання фізичного обладнання, що підвищує доступність і ефективність навчального процесу.

***Ключові слова**: віртуальний лабораторний стенд, емулятор, AVR, веб-технології, клієнт-сервер, периферійні модулі, інтерактивне навчання.*

Вступ. Розвиток сучасних освітніх технологій та поява доступних онлайн-інструментів створили умови для широкого застосування віртуальних лабораторій у підготовці фахівців технічних спеціальностей. Віртуальні стенди дають змогу імітувати роботу реальних апаратних систем, проводити експерименти, тестувати алгоритми та вивчати взаємодію апаратних компонентів без необхідності використання фізичного обладнання [1][2]. У межах проєкту було розроблено комплексний віртуальний лабораторний стенд, що поєднує емулятор мікроконтролера AVR, набір периферійних модулів та веб-інтерфейс для взаємодії з користувачем.

Постановка задачі. Метою роботи є створення віртуального лабораторного стенда, який забезпечує повноцінну емуляцію мікроконтролера AVR, моделювання периферійних пристроїв, можливість інтеграції компонентів

у єдину систему та доступ користувачів через веб-технології, з підтримкою режимів графічного відображення та клієнт-серверної архітектури [3].

Основний зміст роботи. Створений віртуальний лабораторний стенд базується на реалізації емулятора мікропроцесорного ядра з набором AVR команд. Основою для моделювання є інтерпретація набору команд AVR, що включає арифметичні, логічні, керуючі та інші типи інструкцій. Емулятор відтворює роботу регістрів, стеку, лічильника команд, механізмів переривань, необхідних для коректного функціонування прикладних програм, створених користувачами. Завдяки відтворенню архітектури AVR у програмній моделі забезпечується сумісність з прошивками, що розробляються для мікроконтролерів цієї платформи [4] в середовищі розробки Arduino.

Крім центрального процесора, було реалізовано набір периферійних модулів, які традиційно використовуються в мікроконтролерних системах: порти вводу-виводу, таймери, UART, SPI. Порти вводу-виводу підтримують режими роботи з цифровими лініями, включаючи читання станів, керування вихідними сигналами. Таймери моделюються з урахуванням справжніх частот відліку. UART та SPI відтворюють послідовну передачу даних у режимах master/slave [5][6].

Особливістю розробленого стенда є широка підтримка зовнішніх цифрових компонентів, що можуть підключатися до мікроконтролера. Серед них -- кнопки, світлодіоди, зсувні регістри 74HC595, 74HC165, 74HC589, контролер світлодіодних матриць MAX7219, цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі, мікросхема реального часу та графічний дисплей. Для кожного з модулів було створено окрему модель, яка взаємодіє з емітованими портами вводу-виводу, забезпечуючи реалістичну поведінку системи. Наприклад, модуль 74HC595 дозволяє передавати дані в паралельних шинах через послідовний інтерфейс, MAX7219 дає змогу формувати відображення на світлодіодних матрицях, а RTC моделює хід часу, враховуючи різні параметри роботи [7].

Для забезпечення комплексності лабораторного стенда реалізовано механізм об’єднання всіх модулів у єдине інтегроване середовище. Компоненти можуть взаємодіяти між собою як у фізичній системі: мікроконтролер передає дані на периферію, периферія змінює свої стани, зовнішні сигнали впливають на перебіг виконання програм. Це дозволяє створювати навчальні сценарії, лабораторні роботи, демонстраційні проєкти та моделювати складні електронні системи без використання реального обладнання [8].

Базовий емулятор було реалізовано мовою програмування C, що забезпечує високу швидкість роботи та портативність. Для підвищення зручності інтеграції у різні проєкти було створено програмні інтерфейси, які дозволяють використовувати емулятор із мов програмування Python і Java. Це розширює можливості застосування стенда: він може бути інтегрований у навчальні середовища, інструменти автоматизації, віддалені лабораторії тощо [9].

Значущою частиною проєкту стала розробка веб-інтерфейсу та клієнт-серверного режиму роботи. Емулятор може працювати як сервер, передаючи клієнту мета-інформацію про стан модулів і внутрішніх регістрів. У цьому

режимі браузер відповідає за графічне представлення системи, включаючи візуалізацію модулів, кнопок, світлодіодів, регістрів та дисплеїв. Такий підхід дозволяє реалізувати сучасний інтерактивний інтерфейс без залежності від специфічного програмного забезпечення. Крім того, існує режим генерації графічного подання на сервері з передаванням готової картинки клієнту через VNC-протокол. Це дає змогу використовувати віртуальний стенд у середовищах, де веб-інтерфейси працюють обмежено або потребують сумісності з існуючими інструментами віддаленого доступу [10].

Розроблений стенд підтримує інтеграцію з Arduino IDE. Це дозволяє студентам та розробникам створювати та компілювати програми для емітованого мікроконтролера із використанням звичних інструментів. Після компіляції прошивка завантажується в емулятор, який відтворює поведінку програми. Такий підхід дозволяє уникнути потреби у фізичних мікроконтролерах, що значно знижує витрати на організацію навчального процесу.

Загалом створений віртуальний стенд забезпечує можливість моделювання різних рівнів мікроконтролерних систем -- від виконання інструкцій ЦП до взаємодії з периферійними цифровими пристроями та графічними дисплеями. Комбінація програмної емуляції, клієнт-серверної архітектури та веб-технологій створює інноваційний інструмент для дистанційного навчання, досліджень і практичної роботи з мікроконтролерними системами.

Наукова новизна роботи полягає у створенні комплексної платформи, що поєднує емуляцію мікропроцесорного ядра, периферійних модулів і веб-інтерфейсу в єдиному середовищі, забезпечуючи інтеграцію апаратної та програмної моделі та підтримку декількох режимів графічного подання результатів.

Висновки. У роботі наведено підхід до розробки віртуального лабораторного стенда, що забезпечує моделювання мікроконтролерних систем, інтеграцію з периферією, підтримку веб-технологій та можливість віддаленої взаємодії. Запропонована платформа може бути ефективно використана у навчальному процесі, дистанційних курсах і прикладних дослідженнях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Balamuralithara B., Woods P. Virtual laboratories in engineering education: the simulation lab and remote lab // Computer Applications in Engineering Education. – 2009. – Vol. 17. – P. 108–118. – DOI: https://doi.org/10.1002/cae.20186
2. Zutin D., Auer M. Online Engineering and Remote Laboratories. Springer, 2011.
3. Ally M. (Ed.). Mobile and Web-Based Learning. Athabasca University Press, 2009.
4. Microchip Technology Inc. AVR Instruction Set Manual. Chandler (AZ), 2020.
5. Axelson J. Serial Port Complete: COM Ports, USB Virtual COM Ports, and Ports for Embedded Systems. Lakeview Research, 2007.
6. Gajski D., Abdi S., Gerstlauer A., Schirner G. Embedded System Design: Modeling, Synthesis and Verification. Springer, 2009.
7. Harris D., Harris S. Digital Design and Computer Architecture. Morgan Kaufmann, 2015.
8. Kopetz H. Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. Springer, 2011.