

DOI <https://doi.org/10.32782/2307-9770.2025.13.03.03>
UDC 621.38:004.9:378.147

Development of a Laboratory and Methodological Complex for Studying Digital Electronics

Utsa, M.*, Kohdas, M.

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

Received: 30.08.2025

Accepted: 22.09.2025

Abstract. The purpose of this work is to improve the educational process in higher and pre-higher education institutions by expanding the laboratory and technical base for conducting practical and laboratory classes for the digital electronics course. The research methodology included an analytical review of modern laboratory equipment, determination of functional and technical requirements for the system, selection of the element base, circuit and software modeling in the Proteus environment, as well as integration with the LabView interface for visualization and control. Modeling of basic logic elements, simulation of analog-to-digital and digital-to-analog converters, and implementation of a USB interface for data exchange with a PC were carried out. The results of the study confirmed the system's performance in emulation mode: the stand successfully reproduces the logic of digital elements, measures analog signals, generates and processes PWM signals, and transmits information to LabView for further processing and display. The power consumption was calculated and the circuit solutions were optimized to ensure stable system operation. The originality of the project lies in the combination of simple and affordable hardware components (Arduino Nano, X9C102, LM317, LC-LM358-PWM2V) with modern methods of circuit and software modeling, which significantly reduces the cost of implementation without losing functionality. Integration with LabView provides additional opportunities for analysis, visualization, and interaction with the system in real time. The practical significance of the development lies in the possibility of using the created complex as a tool for conducting laboratory work, practical classes, and research activities in the field of digital electronics. The stand allows students to gain practical skills in working with microcontroller systems, logic elements, and converters, and teachers to effectively organize the educational process.

Key words: digital electronics, Arduino Nano, LabView, microcontroller, logic elements, educational process.

Розробка лабораторно-методичного комплексу з вивчення цифрової електроніки

Уца М. О., Когдась М. Г.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, Україна

Анотація. Метою роботи є вдосконалення навчального процесу в закладах вищої та передвищої освіти шляхом розширення лабораторно-технічної бази для проведення практичних та лабораторних занять для курсу цифрової електроніки. Методологія дослідження включала аналітичний огляд сучасного лабораторного обладнання, визначення функціональних і технічних вимог до системи, вибір елементної бази, схемотехнічне та програмне моделювання в середовищі Proteus, а також інтеграцію з інтерфейсом LabView для візуалізації та керування. Здійснено моделювання базових логічних елементів, симуляцію роботи аналого-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів, а також реалізовано інтерфейс USB для обміну даними з персональним комп'ютером. Результати дослідження підтвердили працездатність системи в режимі емуляції: стенд успішно відтворює логіку функціонування цифрових елементів, здійснює вимірювання аналогових сигналів, формує та обробляє ШІМ-сигнали, а також передає інформацію в LabView для подальшої обробки та відображення. Проведено розрахунок споживаної потужності та оптимізацію схемних рішень для забезпечення стабільної роботи системи. Оригінальність проекту полягає в поєднанні простих і доступних апаратних компонентів (Arduino Nano, X9C102, LM317, LC-LM358-PWM2V) з сучасними методами схемотехнічного та програмного моделювання, що дозволяє значно знизити вартість реалізації без втрати функціональності. Інтеграція з

*
Corresponding Author: Utsa Mykola Oleksandrovich. E-mail: kolya.utsa@gmail.com
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,
vul. Universytetska, 20, Kremenchuk, Poltava Region, Ukraine, 39600.

Відповідальний автор: Уца Микола Олександрович. E-mail: kolya.utsa@gmail.com
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
вул. Університетська, 20, м. Кременчук Полтавської обл., Україна, 39600.

LabView надає додаткові можливості для аналізу, візуалізації та взаємодії з системою у реальному часі. Практичне значення розробки полягає в можливості використання створеного комплексу як інструмента для проведення лабораторних робіт, практичних занять і дослідницької діяльності в галузі цифрової електроніки. Стенд дозволяє студентам отримати практичні навички роботи з мікроконтролерними системами, логічними елементами та перетворювачами, а викладачам – ефективно організувати навчальний процес.

Ключові слова: цифрова електроніка, Arduino Nano, LabView, мікроконтролер, логічні елементи, навчальний процес.

I Вступ

У сучасних умовах розвитку цифрових технологій та автоматизації особливої актуальності набуває якісна підготовка майбутніх фахівців у галузі електроніки. Практичне засвоєння знань з цифрової електроніки є надзвичайно важливим, оскільки саме ця сфера лежить в основі функціонування мікропроцесорних систем, засобів автоматизації, побутової техніки та промислової електроніки. Однак у багатьох навчальних закладах спостерігається недостатність або застарілість лабораторного обладнання, що не дозволяє повною мірою реалізувати потенціал практичного навчання. Таким чином, виникає нагальна потреба у створенні сучасних, доступних та ефективних засобів для реалізації навчального процесу, які б відповідали вимогам як педагогіки, так і технічного прогресу. Аналіз існуючих навчальних рішень показує, що на ринку представлено чимало комерційних лабораторних стендів, зокрема, таких як "НТЦ-01.01.3", NI ELVIS або ITS-101A. Вони вирізняються високою функціональністю та широкими можливостями, проте мають суттєві недоліки: складність у використанні, громіздкість, висока вартість та відсутність гнучкості в адаптації під специфіку окремого курсу або навчального закладу. Більшість таких стендів орієнтовані на вузькі технічні завдання і не завжди дозволяють інтегрувати новітні підходи до навчання – зокрема, використання мікроконтролерів, моделювання в середовищі Proteus або інтерактивну взаємодію з ПК через LabVIEW. Саме ці недоліки створюють практичну прогалину, яка потребує вирішення. Постає проблема створення компактного, універсального, але при цьому доступного за ціною лабораторного комплексу, який дозволяє симулювати роботу базових логічних елементів, комбінованих цифрових схем, а також цифрово-аналогових та аналого-цифрових перетворювачів. Такий підхід дозволить студентам не лише краще засвоїти теоретичний матеріал, а й закріпити його практичними навичками, що відповідають сучасним вимогам технічної освіти.

Таким чином, розробка лабораторного стенду, адаптованого до сучасних освітніх потреб, є не лише актуальною, а й необхідною умовою для вдосконалення технічної освіти в закладах освіти.

Метою дослідження є підвищення ефективності навчального процесу з цифрової електроніки шляхом розробки та дослідження лабораторно-методичного комплексу, який дозволяє моделювати логічні функції, аналого-цифрові перетворення та візуалізувати результати роботи в інтерактивному середовищі.

II Матеріал і методи дослідження

Об'єктом дослідження є лабораторно-методичний стенд для вивчення цифрової електроніки, який дозволяє симулювати логічні елементи та схеми, здійснювати аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворення, а також забезпечує інтерактивну взаємодію з користувачем через ПК. Розроблений стенд поєднує апаратну та програмну частини, що функціонують у взаємодії за допомогою USB-інтерфейсу.

У процесі розробки було застосовано системний підхід, який передбачає цілісне бачення структури стенду як комплексу взаємозалежних компонентів — апаратних модулів, програмного забезпечення, алгоритмів обробки сигналів та методичного супроводу. Кожен підсистемний елемент (ввід, обробка, вивід, комунікація з ПК) розглядався не ізольовано, а як частина єдиної функціональної структури, здатної адаптуватися до умов навчального процесу. Основні етапи розробки включали:

1. Аналіз існуючих рішень: аналіз ринку комерційних лабораторних стендів, оцінка функціональності існуючих моделей, вартості та обмежень для формулювання технічного завдання з орієнтацією на гнучкість та доступність.

2. Формування технічних вимог: визначення параметрів логічних рівнів, кількості входів/виходів системи, діапазонів напруг, протоколів обміну. Формулювання вимог з урахуванням практичної доцільності для навчального процесу.

3. Вибір компонентної бази: вибір апаратних компонентів з урахуванням вище описаних вимог. Визначення загальних технічних характеристик, урахування енергоспоживання, сумісності між елементами, простота інтеграції, можливість модернізації та масштабування системи.

4. Схемотехнічне моделювання: побудова схеми електричної структурної для явного визначення основної будови системи та логічних взаємозв'язків між частинами, реалізація віртуальної моделі системи та окремих її блоків для підтвердження працездатності ідеї, попереднього визначення характеристик системи, налаштування блоків, оптимізація параметрів та компонування блоків у загальну систему.

5. Програмна реалізація: синтез алгоритмів та програмування логіки роботи з урахуванням обробки вхідних команд, генерації та аналізу сигналів, а також реалізації функціональних блоків. Додатково, розробка інтерфейсу користувача для керування системою та візуалізацією результатів.

6. Схемотехнічний синтез: побудова схеми електричної принципової що відображає компонування та електричний зв'язок між компонентами.

7. Тестування і верифікація: перевірка працездатності всіх функціональних блоків, симуляція змін вхідних даних, аналіз поведінки системи в динаміці, оцінка точності та стабільності сигналів.

Методологія дослідження спиралася на сучасну матеріально-програмну базу: матеріальна частина, яка складається з Arduino Nano, резисторів, світлодіодів, стабілізаторів, програмованого резистору X9C102, модуля LC-LM358-PWM2V; програмна частина використовує Proteus (для схемотехнічного моделювання та тестування логіки роботи), Arduino IDE (для створення та завантаження прошивки мікроконтролера), LabVIEW (для створення інтерактивного графічного інтерфейсу користувача), VSPE/Serial Monitor (для організації обміну даними з ПК).

У результаті роботи було створено: повну електричну структурну схему стенду; віртуальну модель у середовищі Proteus, що дозволяє протестувати роботу без фізичного макета; схему електричну принципову стенду; працездатну прошивку для Arduino, яка забезпечує керування усіма елементами; інтерфейс у LabVIEW для введення команд, зчитування та відображення результатів; модель стенду із симуляцією логічних функцій, зчитуванням аналогового сигналу та генерацією/перетворенням ШІМ.

III Результати

У межах дослідження було проведено огляд сучасних лабораторних стендів, що використовуються для вивчення електроніки та цифрових схем у вищих і середніх навчальних закладах. Основна увага зосереджувалася на їхній конструкції, функціональності, призначенні та відповідності навчальним цілям. Результати порівняння описані в таблиці 1.

Табл. 1. Порівняльна характеристика існуючих навчальних стендів

Назва стенду	Орієнтація	Функціональність	Формат використання	Доступність
HTЦ-01.01.3	Електротехніка	Різноманітні експерименти з аналоговими колами	Стаціонарний, класичний	Обмежена
ITS-101A	Мережеві технології	Протоколи TCP/IP, мережеві експерименти	Комп'ютерно-орієнтований	Висока
NI ELVIS	Універсальний	Повний набір лабораторних інструментів	Модульний	Обмежена через ціну
Запропонована система	Цифрова електроніка	Базові логічні елементи, АЦП, ЦАП, індикація, USB	Компактний, на основі мікроконтролера	Висока

У процесі формування вимог до лабораторно-методичного комплексу було визначено параметри, які забезпечують його повноцінне функціонування в умовах навчального процесу. Основні технічні вимоги сформульовано з урахуванням принципів простоти, сумісності, стабільності та відповідності стандартам цифрової електроніки.

До ключових технічних характеристик стенду віднесено: ТТЛ-логіка з типовим рівнем живлення 5 В; вхідна напруга 12 В постійного струму з подальшим перетворенням до 5 В для внутрішніх модулів; не менше 2 аналогових входів; не менше 12 цифрових виходів; діапазон аналогового вихідного сигналу – 0...5 В; з'єднання з ПК через USB-інтерфейс з реалізацією віртуального COM-порту.

Функціональні вимоги до системи передбачають:

- можливість симуляції основних логічних елементів (I, АБО, НЕ, XOR);
- підтримку комбінаторних схем, таких як тригери та суматори;
- генерацію ШІМ-сигналів та їх перетворення в аналоговий сигнал;
- зчитування аналогових значень через вбудований АЦП;
- передачу результатів у реальному часі на персональний комп'ютер;
- візуальне відображення стану логічних виходів за допомогою світлодіодів;
- керування процесом через текстові команди з ПК.

Під час вибору елементної бази враховувалися наступні вимоги: відповідність технічним характеристикам (логічні рівні, кількість входів/виходів, живлення); сумісність з мікроконтролерними платформами; доступність на ринку; простота інтеграції в середовищах Arduino IDE та Proteus; низьке енергоспоживання та стабільна робота в навчальних умовах. На основі аналізу було обрано компоненти представлені в таблиці 2.

Табл. 2. Перелік компонент розроблюваної системи

Компонент	Призначення
Arduino Nano V3	Центральний обчислювальний модуль для обробки логіки, зчитування та генерації сигналів
Програмований резистор Х9С102	Цифрове керування аналоговим опором, моделювання змінних параметрів
LC-LM358-PWM2V	Перетворення ШІМ-сигналу в аналоговий для симуляції ЦАП
Стабілізатор LM317	Зниження напруги з 12 В до 5 В для живлення мікроконтролера та іншої периферії
Світлодіоди (8 шт.)	Індикація стану логічних виходів
Резистори обмежувальні (330 Ом)	Захист світлодіодів від перевантаження струмом

Наступним етапом є синтез схеми електричної структурної та схемотехнічне моделювання. Структурна схема, представлена на рисунку 1, дозволяє візуалізувати загальну організацію її функціональних блоків та зв'язки між ними.

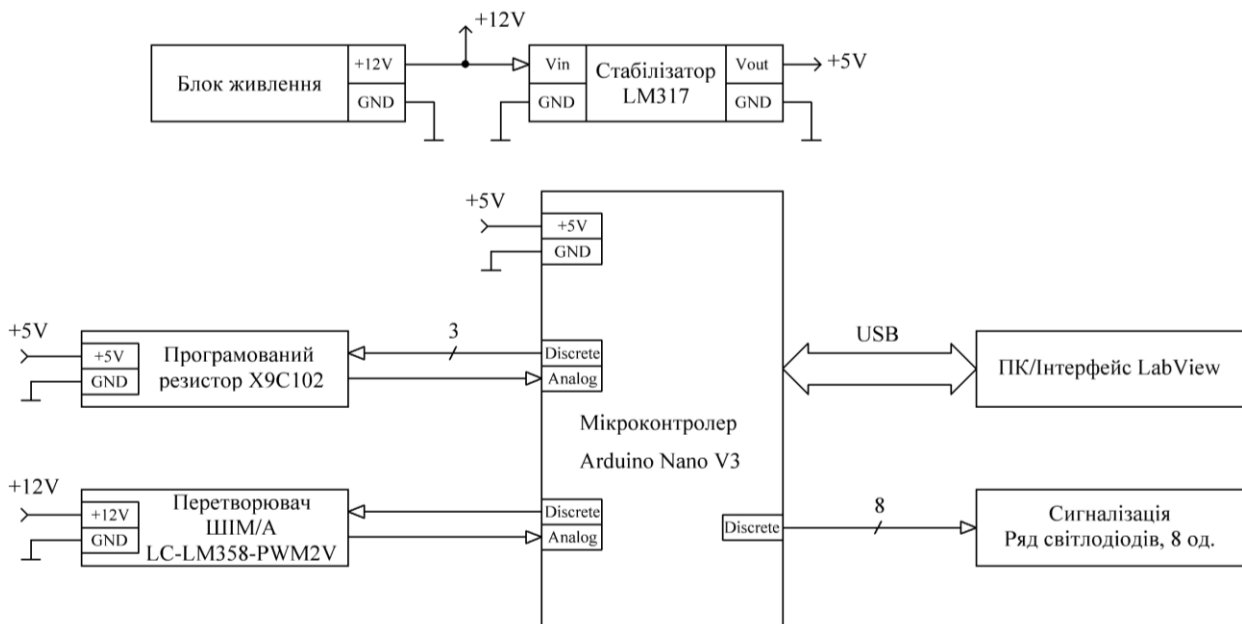


Рис. 1. Схема електрична структурна системи

Структурно пристрій включає в себе наступні вузли:

1. Модуль живлення з стабілізацією напруги;
2. Мікроконтролер Arduino Nano як центральний обчислювальний елемент;
3. Модулі керування та генерації сигналів (X9C102, LC-LM358-PWM2V);
4. Індикаційний блок зі світлодіодами;
5. Інтерфейс для з'єднання з персональним комп'ютером.

Лабораторно-методичний комплекс побудовано на базі мікроконтролера Arduino Nano V3, який виконує функції центрального логічного блока, забезпечуючи обробку сигналів, керування зовнішніми пристроями та обмін даними з ПК через USB-інтерфейс. Живлення системи здійснюється від зовнішнього джерела +12 В; для компонентів з напругою 5 В використовується стабілізатор LM317.

До мікроконтролера підключено програмований резистор X9C102, керований трьома дискретними сигналами. Його аналоговий вихід зчитується через вбудований АЦП Arduino для подальшого аналізу. Модуль ШІМ-Аналог LC-LM358-PWM2V імітує цифро-аналогове перетворення: формований ШІМ-сигнал перетворюється в аналогову напругу, керовану з LabView.

Система містить 8 світлодіодів, підключених до цифрових виходів Arduino, що забезпечують індикацію роботи логічних елементів та тригерів. Управління комплексом реалізовано через інтерактивну панель LabView, яка дозволяє задавати параметри, здійснювати контроль і візуалізувати результати.

Для перевірки правильності побудови логіки роботи системи та виявлення можливих помилок ще на етапі проєктування, було здійснено схемотехнічне моделювання у середовищі Proteus версії 8.16. Це дозволило у віртуальному режимі перевірити функціональність системи без необхідності фізичної збірки. Зовнішній вигляд системи представлений на рисунку 2.

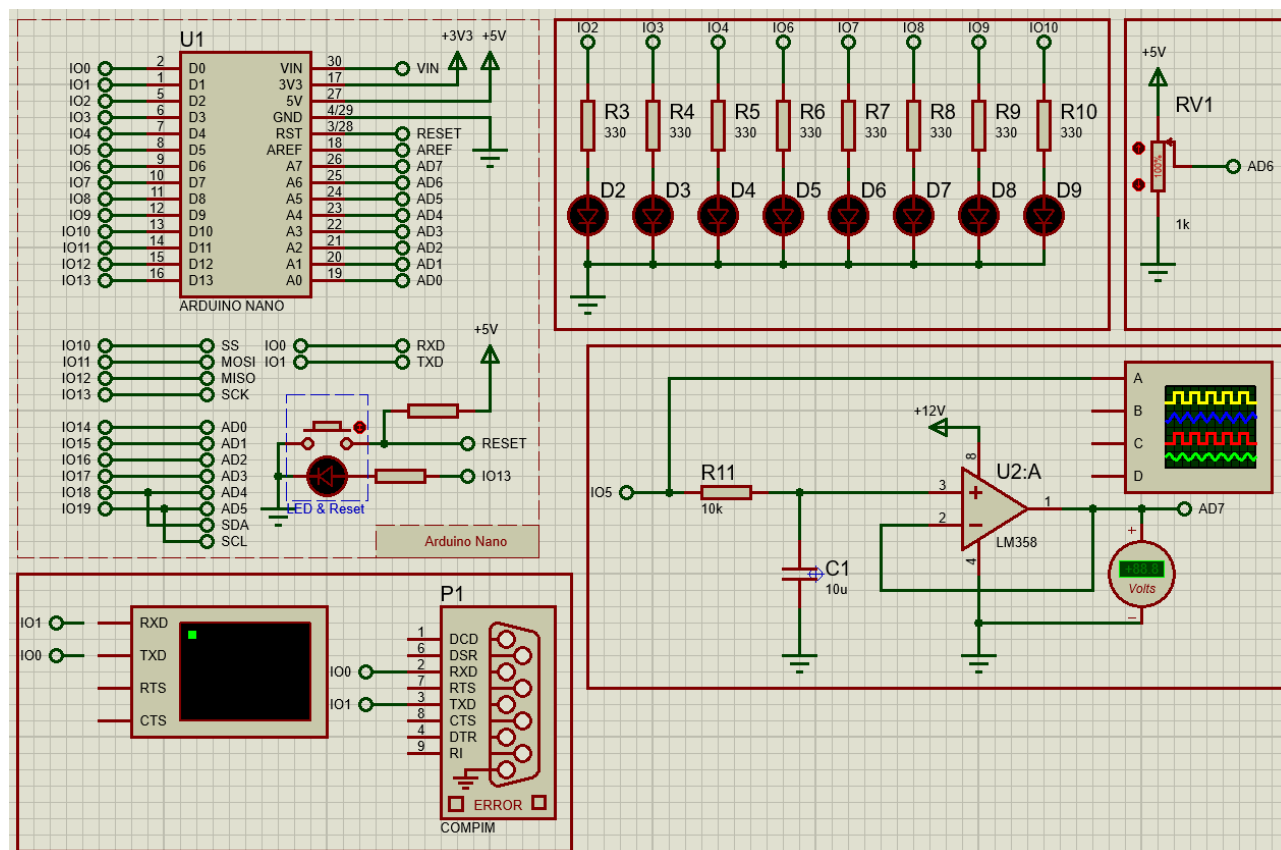


Рис. 2. Загальний вигляд моделі в пакеті Proteus

Першим етапом є перевірка роботи ряду світлодіодів, що представляють собою виходи логічних елементів, а стан світлодіода визначається результатом роботи відповідного симульованого елемента. Шляхом відправки рядка з 8 символів, кожен з яких може мати значення "0" або "1", відбувається керування системою. Мікроконтролер отримує дані, аналізує та виводить на ряд світлодіодів комбінацію

результатів роботи логічних елементів. В результаті було проведено симуляцію чотирьох логічних елементів: І, АБО, Виключне АБО, НЕ; кожному елементу призначений світлодіод R3, R4, R5, R6 відповідно. В даному випадку достатньо команди довжиною 7 символів, так як елемент НЕ має лише один вхід. Результати роботи представлені на рисунку 3.

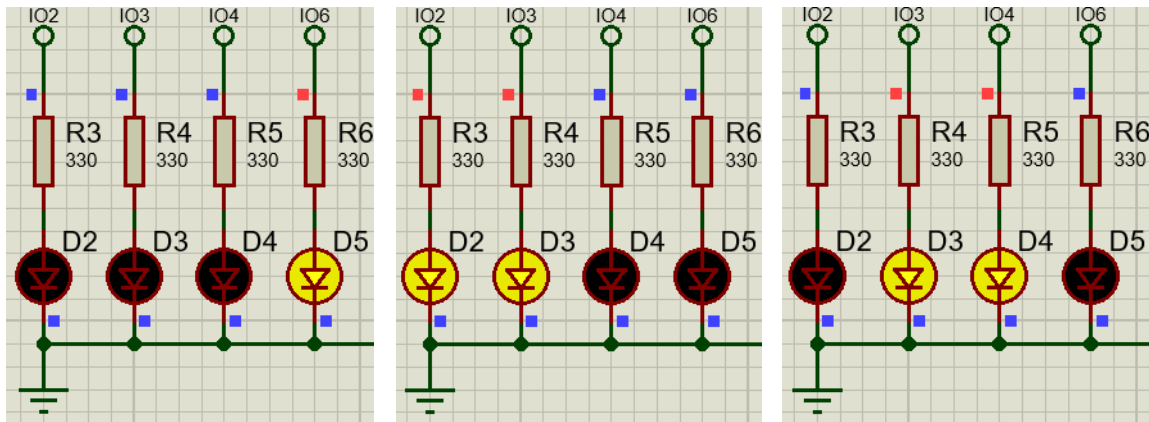


Рис. 3. Результат індикації після відправлення рядків “000000”, “111111”, “101010” відповідно

Наступним етапом є перевірка коректності зчитування аналогових сигналів мікроконтролером, а також передачі даних через послідовний порт, для цього було змодельовано схему, в якій рухомий контакт змінного резистора підключено до аналогового входу AD6 плати Arduino. Така конфігурація дозволяє змінювати рівень напруги, що подається на вхід мікроконтролера, шляхом зміни положення повзунка змінного резистора. Arduino Nano зчитує аналоговий сигнал за допомогою вбудованого аналогово-цифрового перетворювача, що має розрядність 10 біт, тобто може повертати значення у діапазоні від 0 до 1023. Формат отриманих даних – ціле беззнакове число unsigned int. Зчитані дані представляють собою цифровий еквівалент аналогової напруги, що подається на пін А6. Результати зчитування можуть виводитися через послідовний порт в пакет LabView для спостереження за змінами напруги на графіку у режимі реального часу.

На комп’ютері було створено програму у LabView, яка має зв’язок з комунікаційним портом, може зчитувати дані у реальному часі з певною частотою оновлення та виводити отримане значення на графік Waveform Chart для візуалізації змін аналогового сигналу у часі. Блок схема тестової програми наведена на рисунку 4. На рисунку 5 представлений процес зміни опору та результуючий графік в інтерфейсі LabView.

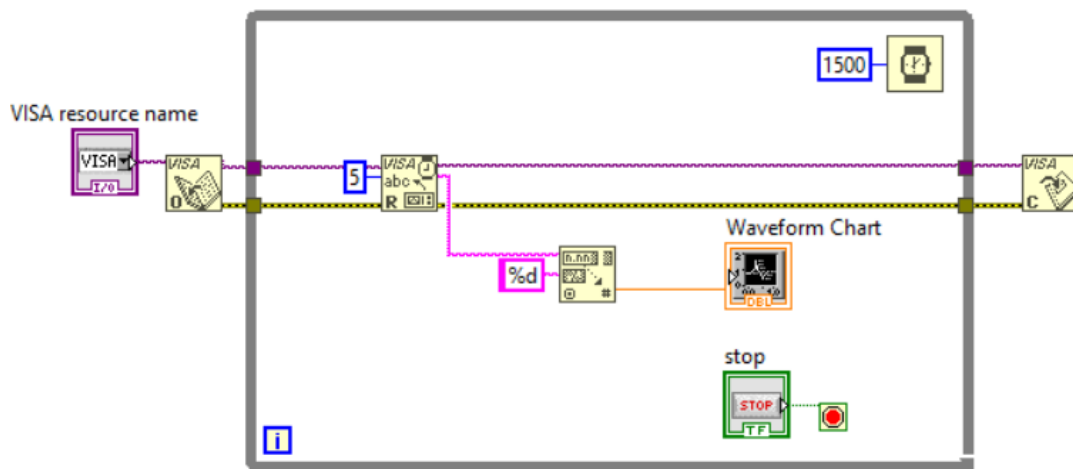


Рис. 4. Блок схема тестового проєкту в пакеті LabView

Третій етап – моделювання процесу цифро-аналогового перетворення. Для даного кроку використовується третій з фільтром низьких частот та операційним підсилювачем.

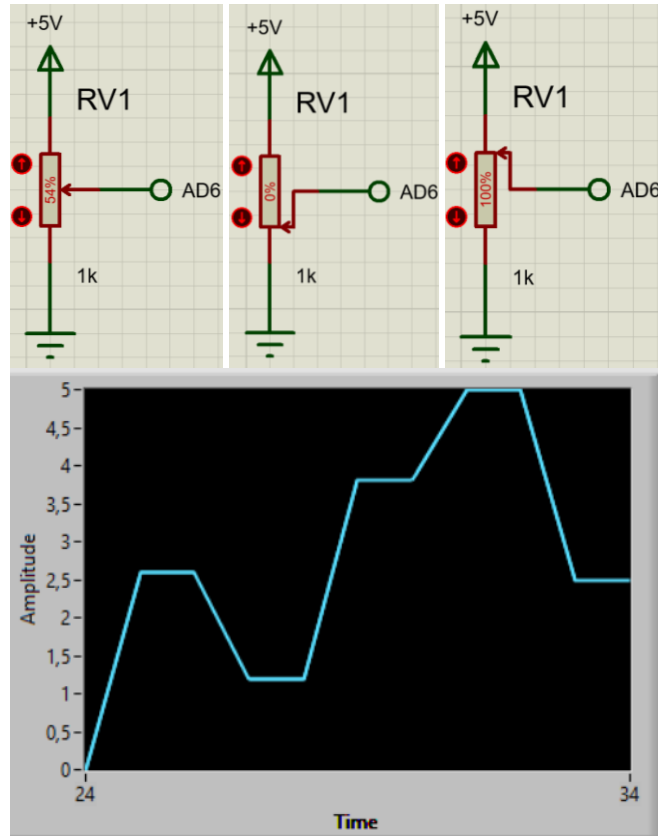


Рис. 5. Процес зміни опору резистора та результуючий графік значення напруги в пакеті LabView

Згідно поданої команди, вихід D5 мікроконтролера генерує ШІМ сигнал, середнє значення напруги якого залежить від ширини імпульсів, тобто коефіцієнта заповнення. Оскільки ШІМ-сигнал є послідовністю прямокутних імпульсів, для отримання неперервного аналогового сигналу реалізовано фільтр низьких частот. У складі схеми фільтра використано RC-ланку, що згладжує сигнал, а також операційний підсилювач, що працює у режимі повторювача для зменшення впливу навантаження на сигнал. Результуюча напруга зчитується аналоговим входом А7 мікроконтролера. На рисунках 6-8 показані графіки вхідного ШІМ-сигналу та величина вихідної напруги при різних коефіцієнтах заповнення:

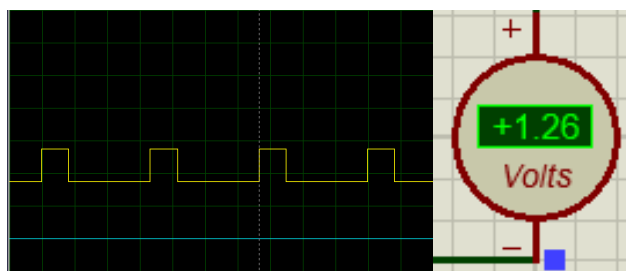


Рис. 6. Параметр вихідної напруги при шпаруватості сигналу 25%

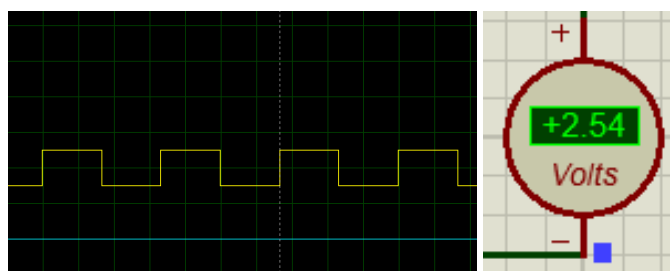


Рис. 7. Параметр вихідної напруги при шпаруватості сигналу 50%

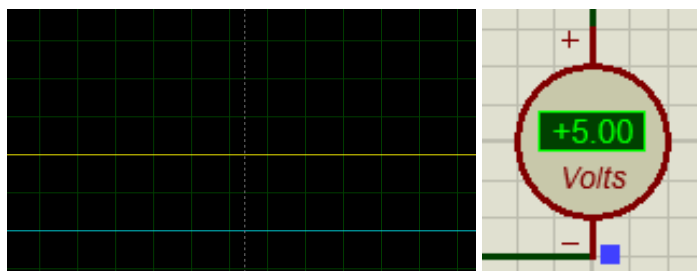


Рис. 8. Параметр вихідної напруги при шпаруватості сигналу 100%

У межах дослідження було створено дві взаємодоповнюючі програмні частини: прошивка мікроконтролера Arduino Nano, яка відповідає за керування фізичними модулями та обробку команд, а також візуальний інтерфейс у середовищі LabView, що забезпечує інтерактивну взаємодію з користувачем через ПК.

Програмний код, реалізований в середовищі Arduino IDE, побудовано за принципом командного аналізу. У головному циклі мікроконтролера постійно виконується перевірка наявності вхідних даних у послідовному порту. У разі наявності даних зчитується повний текстовий рядок. Після зчитування відбувається аналіз першого символу — він визначає тип команди у вигляді буквенного символу. Інша частина рядка інтерпретується як числовий параметр, який буде використано у відповідному функціональному блоці.

Основні дії програми:

1) при виявленні команди “b”, інтерпретація значень як двійкових вхідних сигналів для логічних елементів, виведення результатів логічних операцій на ряд світлодіодів.

2) команда “r” активує цифрове керування програмованим резистором X9C102: спочатку встановлюється напрям зміни опору (через пін U/D), далі генерується відповідна кількість імпульсів на лінії INC при активному сигналі CS.

3) при команді “p”, встановлення значення ШІМ-сигналу на пін D5 через функцію analogWrite(), що дозволяє змінювати коефіцієнт заповнення сигналу.

Інтерфейс користувача був створений для забезпечення зручної взаємодії між користувачем і апаратною частиною системи. Він поділений на дві частини: ліва – статична, відповідає за налаштування зв'язку з пристроєм (вибір COM-порту, завершення роботи, перемикач активного режиму), а права – динамічна, містить вкладки лабораторних робіт, які змінюють свій зміст залежно від обраного функціоналу.

Права частина містить п'ять вкладок:

1. «ЛР1 Логічні елементи» дозволяє керувати входами логічних елементів І, АБО, ХОР, НЕ та спостерігати стан виходів за допомогою світлодіодів.

2. «ЛР2 Суматори» – це інтерфейс для роботи з напівсуматором і повним суматором; містить перемикачі для задання входів і світлодіоди для індикації вихідних сигналів.

3. «ЛР3 Тригери» забезпечує дослідження RS-, T-, D- та JK-тригерів, реалізованих у форматі керованих вхідних сигналів з відображенням результату.

4. «ЛР4 АЦП» – це симуляція аналого-цифрового перетворення, користувач задає напругу за допомогою циферблату, а результат відображається у вигляді цифрового коду, діаграми та шкали індикації.

5. «ЛР5 ЦАП» дозволяє задавати цифрове значення через набір перемикачів і спостерігати відповідну аналогову напругу на виводі (графік і стрілочний індикатор).

Інтерфейс має інтуїтивно зрозумілу структуру, з графічними елементами, світлодіодами, індикаторами та діаграмами, що полегшують сприйняття процесів і підвищують ефективність навчання. На рисунку 9 представлений зовнішній вигляд інтерфейсу з однією з активних вкладок:

Інтерфейс LabVIEW також включає модуль для відображення відеозображення з вебкамери, яка встановлюється над лабораторним стендом, що дозволяє користувачу в реальному часі спостерігати за фізичною реакцією пристрою на подані команди. Для роботи з вебкамерами в LabView використовується модуль NI Vision Acquisition Software.

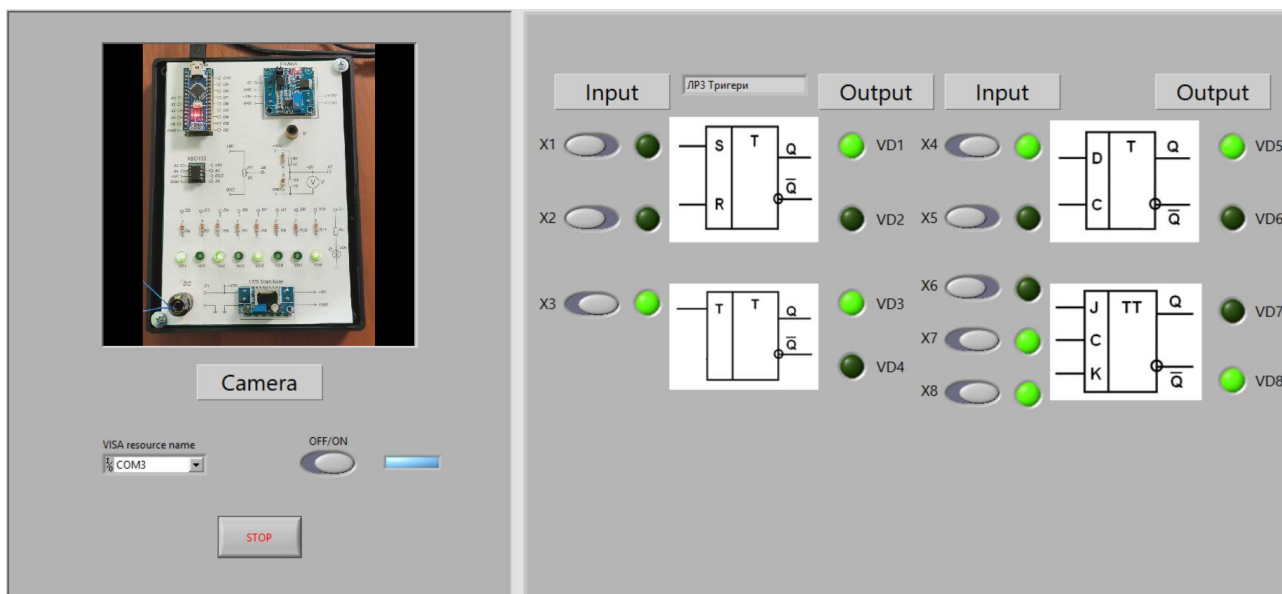


Рис. 9. Зовнішній вигляд інтерфейсу користувача

IV Обговорення

У ході виконання дослідження було реалізовано повний цикл розробки лабораторно-методичного комплексу для вивчення цифрової електроніки – від обґрунтування потреби до тестування готової системи. У цьому розділі розглянемо ключові прийняті рішення та обґрунтуємо їх доцільність.

Насамперед, необхідність створення нової системи була обґрунтована через аналіз існуючих рішень. Як показав огляд, більшість лабораторних стендів на ринку мають надлишкову функціональність, високу вартість або спеціалізовані на інших напрямках. Водночас у сфері базового вивчення цифрової електроніки існує дефіцит доступних, гнучких і компактних рішень, які можна легко інтегрувати в навчальний процес. Це й зумовило актуальність розробки саме такого типу стенду.

Формулювання технічних вимог здійснювалося з урахуванням як освітніх цілей таких як наочність, простота використання, логічна структура, так і технічних обмежень таких як низьке енергоспоживання, мінімум зовнішніх елементів, відповідність рівням ТТЛ-логіки. Даний підхід дозволив забезпечити повну відповідність системи типовим лабораторним задачам – симуляція логіки, ШІМ, АЦП, ЦАП – без перевантаження зайвими функціями.

Вибір апаратної бази був здійснений з фокусом на балансі між функціональністю та доступністю. Arduino Nano V3 – перевірений, зручний у програмуванні та широко підтримуваний мікроконтролер. Модуль LC-LM358-PWM2V, як простий і ефективний спосіб реалізації ЦАП на основі ШІМ, і програмований резистор Х9С102 – для цифрового регулювання аналогових параметрів – є оптимальними виборами для демонстраційних цілей. Світлодіоди та резистори виступають наочними індикаторами, що дуже важливо в навчальному процесі для здобувачів освіти що входять у сферу електроніки. Усі компоненти прості для монтажу й не потребують дорогих або складних технологій виробництва.

Схемотехнічне моделювання в Proteus дозволило протестувати логіку роботи без фізичної реалізації, що значно зекономило ресурси на етапі налагодження. Віртуальна симуляція роботи Arduino в поєднанні з іншими модулями показала високу ефективність цього підходу для швидкого циклу перевірки: введення-обробка-виведення. У Proteus були змодельовані як цифрові, так і аналогові ланки – включаючи ШІМ, ЦАП і програмований резистор, що дозволило перевірити взаємодію цифрових та аналогових сигналів.

Програмне забезпечення, створене для мікроконтролера, має просту, але гнучку архітектуру – обробка текстових команд у форматі "Літера + Числові значення" забезпечує легку масштабованість без зміни структури коду. Асинхронна робота з послідовним портом виключає блокування циклів, що важливо для забезпечення чіткої реакції системи на вхідні дії.

Інтерфейс у LabView доцільно доповнює апаратну частину. Його багаторівнева структура дозволяє легко адаптувати програму до різних лабораторних робіт, а графічне представлення сигналів робить взаємодію максимально наочною для студентів. Це рішення обрано не лише з міркувань зручності, а й тому, що LabView є стандартом в інженерному середовищі, отже – використання його в навчальному процесі підвищує якість підготовки фахівців.

Додатково, вбудована підтримка відеоспостереження та повна взаємодія через USB-інтерфейс відкриває перспективу дистанційного використання лабораторного комплексу. Студенти можуть подавати команди через ПК, отримувати відповіді, спостерігати за стендом у режимі реального часу без потреби перебування в лабораторії. Це робить систему ефективним інструментом для змішаного або повністю дистанційного навчання, що особливо актуально в сучасних умовах.

Усі прийняті рішення мають спільну ознаку – вони орієнтовані на практичну ефективність в умовах освітнього процесу. Проста структура, доступна елементна база, логічна функціональність і наочний інтерфейс забезпечують повне охоплення тем курсу з цифрової електроніки, зберігаючи при цьому гнучкість і масштабованість.

V Висновки

У ході дослідження було створено лабораторно-методичну систему, що поєднує простоту апаратної реалізації з функціональністю, необхідною для якісного викладання основ цифрової електроніки. Всі етапи, від аналізу існуючих рішень до практичного тестування, підтвердили доцільність обраного підходу до побудови навчального стенду.

Запропонована система вирішує проблему недостатньої доступності сучасних лабораторних засобів, зберігаючи при цьому технічну відповідність типовим вимогам освітнього процесу. Сформульовані технічні вимоги дозволили точно визначити межі функціоналу, необхідного для ефективного засвоєння матеріалу. Апаратна частина на основі Arduino Nano та доступних модулів виявилася оптимальною для реалізації поставлених задач без надмірної складності та витрат.

Системне моделювання в середовищі Proteus підтвердило правильність логіки функціонування пристрою до етапу його фізичної реалізації. Написана прошивка Arduino та інтерфейс у LabView забезпечують зручну інтерактивну взаємодію з користувачем, що робить систему придатною для різнопланових лабораторних завдань.

Отримані результати узгоджуються з очікуваннями та підтверджують ефективність використання мікроконтролерного підходу в навчальних цілях. У порівнянні з раніше доступними громіздкими та дорогими стендами, розроблена система демонструє кращу адаптивність, зручність у використанні та гнучкість щодо модифікацій.

Наукова новизна дослідження полягає в поєднанні базових апаратних засобів із сучасними засобами візуального моделювання та керування, що дозволило реалізувати багатofункціональний лабораторний інструмент при мінімальних ресурсах.

Практичне значення полягає у можливості прямого впровадження створеного комплексу в навчальний процес технічних спеціальностей, а також у його подальшому розширенні для інших дисциплін. Система може стати основою для подальших науково-методичних розробок, у тому числі пов'язаних із вивченням мікроконтролерних систем, цифрової електроніки, електричних перетворень і систем візуального моніторингу.

Бібліографічні посилання

1. Бех І. І., Левитський С. М. Цифрові пристрої: навчальний посібник. Київ: Видавнична лабораторія радіофізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2016. 336 с.
2. Оксанич А. П., Притчин С. Е., Волохов С. О. Проектування мікроконтролерних систем: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Кривий Ріг: Мінерал, 2010. 282 с.
3. Оксанич А. П., Притчин С. Е., Когдась М. Г. Програмні засоби мікроконтролерних систем малої автоматизації. Кременчук: ПП Щербатих О. В., 2022. 202 с.
4. Шульга А. В., Кравченко В. І. Методика викладання цифрової електроніки з використанням мікроконтролерних платформ. Проблеми інженерно-педагогічної освіти. 2020. № 67. С. 101–108. DOI: <https://doi.org/10.32820/2074-8922-2020-67-101-108>
5. Ковальчук Р. М., Бойко І. С. Навчальні апаратно-програмні комплекси для вивчення мікроконтролерів у ЗВО. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2020. № 2. С. 87–93. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-2-87-93>

6. Федоренко В. Г., Левченко Д. М. Організація лабораторних робіт з цифрової схемотехніки на основі Arduino Nano. Технічна електродинаміка. 2022. № 4. С. 92–98. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2022.04.092>
7. Марченко О. Ю. Формування компетентностей з цифрової електроніки засобами мікроконтролерних технологій. Системи управління, навігації та зв'язку. 2021. № 1(63). С. 141–146. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.1.141>
8. Бондаренко М. Ф., Шевченко І. В. Навчальні стенди на базі мікроконтролерів для дослідження логічних елементів. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2020. Т. 84, № 1. С. 112–118. DOI: <https://doi.org/10.15673/swonaft.v84i1.1765>
9. Гончаренко І. С., Пилипенко О. М. Інтеграція Arduino Nano в навчальні лабораторні роботи з цифрової електроніки. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2021. Вип. 6(131). С. 54–60. DOI: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.6.54-60>
10. Костенко О. В., Коваленко С. М. Використання платформи Arduino у навчанні цифрової електроніки майбутніх інженерів. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2021. № 2. С. 72–79. DOI: <https://doi.org/10.24025/2306-4412.2.2021.233489>
11. Кузьменко В. А., Лисенко О. П. Застосування середовища LabVIEW у лабораторному практикумі з цифрової схемотехніки. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інформатика та моделювання. 2019. № 28. С. 45–51. DOI: <https://doi.org/10.20998/2411-0558.2019.28.06>
12. Proteus Design Suite: навчальний посібник. URL: <https://labcenter.s3.amazonaws.com/downloads/Tutorials.pdf> (дата звернення 03.08.2024).
13. Павленко М. О., Савченко О. В. Використання LabVIEW для моделювання та дослідження цифрових пристроїв. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Автоматизація та приладобудування. 2021. № 3. С. 33–39. DOI: <https://doi.org/10.20998/2411-0558.2021.3.05>
14. Сидоренко Ю. В., Каченко Д. В. Дослідження цифрових логічних схем з використанням апаратно-програмних платформ. Системи обробки інформації. 2020. № 4(163). С. 98–104. DOI: <https://doi.org/10.30748/soi.2020.163.12>
15. Руденко О. Г., Мельник А. О. Мікроконтролерні системи в освітньому процесі підготовки фахівців з електроніки. Електротехніка і електромеханіка. 2022. № 1. С. 63–69. DOI: <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2022.1.10>
16. Стаття про широтно-імпульсну модуляцію (PWM). URL: <https://control.com/technical-articles/understanding-the-basics-of-pulse-width-modulation-pwm/> (дата звернення 11.08.2024).
17. Дяченко О. П. Формування практичних навичок роботи з мікроконтролерами у студентів інженерних спеціальностей. Проблеми інженерно-педагогічної освіти. 2019. № 62. С. 134–140. DOI: <https://doi.org/10.32820/2074-8922-2019-62-134-140>
18. Бабенко О. С., Нікітін В. О. Реалізація логічних елементів і тригерів у навчальних макетах на базі Arduino. Наукові праці ДонНТУ. Серія: Електротехніка і енергетика. 2019. № 2(21). С. 56–62. DOI: <https://doi.org/10.31474/1996-1588-2019-2-56-62>

References

1. Bekh, I. I., & Levytskyi, S. M. (2016). Digital devices (Textbook). Kyiv, Ukraine: Publishing Laboratory of the Radiophysics Faculty, Taras Shevchenko National University of Kyiv.
2. Oksanych, A. P., Prytchyn, S. E., & Volokhov, S. O. (2010). Design of microcontroller systems (Textbook for higher education students). Kryvyi Rih, Ukraine: Mineral.
3. Oksanych, A. P., Prytchyn, S. E., & Kondas, M. H. (2022). Software tools of microcontroller systems for small automation. Kremenchuk, Ukraine: PP Shcherbatykh O. V.
4. Shulha, A. V., & Kravchenko, V. I. (2020). Methodology of teaching digital electronics using microcontroller platforms. Problems of Engineering and Pedagogical Education, (67), 101–108. <https://doi.org/10.32820/2074-8922-2020-67-101-108>
5. Kovalchuk, R. M., & Boiko, I. S. (2020). Educational hardware and software complexes for studying microcontrollers in higher education institutions. Information Technology and Computer Engineering, (2), 87–93. <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2020-2-87-93>
6. Fedorenko, V. H., & Levchenko, D. M. (2022). Organization of laboratory work on digital circuit design based on Arduino Nano. Technical Electrodynamics, (4), 92–98. <https://doi.org/10.15407/techned2022.04.092>
7. Marchenko, O. Yu. (2021). Formation of digital electronics competencies using microcontroller technologies. Control, Navigation and Communication Systems, 1(63), 141–146. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.1.141>
8. Bondarenko, M. F., & Shevchenko, I. V. (2020). Educational stands based on microcontrollers for studying logic elements. Scientific Works of Odessa National Academy of Food Technologies, 84(1), 112–118. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v84i1.1765>
9. Honcharenko, I. S., & Pylpenko, O. M. (2021). Integration of Arduino Nano into educational laboratory work on digital electronics. Bulletin of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 6(131), 54–60. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.6.54-60>
10. Kostenko, O. V., & Kovalenko, S. M. (2021). Using the Arduino platform in teaching digital electronics to future engineers. Bulletin of Cherkasy State Technological University. Technical Sciences Series, (2), 72–79. <https://doi.org/10.24025/2306-4412.2.2021.233489>
11. Kuzmenko, V. A., & Lysenko, O. P. (2019). Application of the LabVIEW environment in laboratory practice on digital circuit design. Bulletin of the National Technical University “KhPI”. Series: Informatics and Modeling, (28), 45–51. <https://doi.org/10.20998/2411-0558.2019.28.06>
12. Labcenter Electronics. (2024). Proteus Design Suite: Tutorials. URL: <https://labcenter.s3.amazonaws.com/downloads/Tutorials.pdf>

13. Pavlenko, M. O., & Savchenko, O. V. (2021). Using LabVIEW for modeling and research of digital devices. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Automation and Instrument Engineering, (3), 33–39. <https://doi.org/10.20998/2411-0558.2021.3.05>
14. Sydorenko, Yu. V., & Tkachenko, D. V. (2020). Research of digital logic circuits using hardware and software platforms. Information Processing Systems, 4(163), 98–104. <https://doi.org/10.30748/soi.2020.163.12>
15. Rudenko, O. H., & Melnyk, A. O. (2022). Microcontroller systems in the educational process of training electronics specialists. Electrical Engineering and Electromechanics, (1), 63–69. <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2022.1.10>
16. Control.com. (2024). Understanding the basics of pulse width modulation (PWM). <https://control.com/technical-articles/understanding-the-basics-of-pulse-width-modulation-pwm/>
17. Diachenko, O. P. (2019). Formation of practical skills in working with microcontrollers among engineering students. Problems of Engineering and Pedagogical Education, (62), 134–140. <https://doi.org/10.32820/2074-8922-2019-62-134-140>
18. Babenko, O. S., & Nikitin, V. O. (2019). Implementation of logic elements and flip-flops in educational models based on Arduino. Scientific Works of Donetsk National Technical University. Series: Electrical Engineering and Power Engineering, 2(21), 56–62. <https://doi.org/10.31474/1996-1588-2019-2-56-62>



Уца Микола Олександрович.

Здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», кафедра автоматизації та інформаційних систем, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Університетська, 20, м. Кременчук Полтавської обл., Україна, 39600.
E-mail: kolya.utsa@gmail.com

Utsa Mykola Oleksandrovych.

First (bachelor's) level higher education student majoring in 151 'Automation and Computer-Integrated Technologies', Automation and Information Systems Department, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, vul. Universytetska, 20, Kremenchuk, Poltava Region, Ukraine, 39600.
E-mail: kolya.utsa@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1134-6721>



Когдась Максим Григорович.

Кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та інформаційних систем, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Університетська, 20, м. Кременчук Полтавської обл., Україна, 39600.
E-mail: kogdashmax@gmail.com

Kohdas Maksym Hryhorovych.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Automation and Information Systems Department, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, vul. Universytetska, 20, Kremenchuk, Poltava Region, Ukraine, 39600.
E-mail: kogdashmax@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7208-2680>

Researcher ID: <https://publons.com/researcher/1649749/maksim-kogdash/>

Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57202277549>

Citation (APA):

Utsa, M., Kohdas, M. (2025). Development of a Laboratory and Methodological Complex for Studying Digital Electronics. Engineering and Educational Technologies, 13 (3), 30–41. doi: <https://doi.org/10.32782/2307-9770.2025.13.03.03>

Цитування (ДСТУ 8302:2015):

Уца М. О., Когдась М. Г. Розробка лабораторно-методичного комплексу з вивчення цифрової електроніки / Інженерні та освітні технології. 2025. Т. 13. № 3. С. 30–41. doi: <https://doi.org/10.32782/2307-9770.2025.13.03.03>

Обсяг статті: сторінок – 12 ; умовних друк. аркушів – 1,738.