

УДК 004:378.147.88

Цирульник Сергій Михайлович

Кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та економічної кібернетики
Вінницький національний аграрний університет, Вінницький технічний коледж, Вінниця, Україна
sovnm@ukr.net
ORCID: 0000-0002-5703-9761

ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС «ARDUINO LEARNER KIT»

Анотація. Відмінність програмування вбудованих систем від класичного полягає в тому, що крім знань з теорії алгоритмів, мов програмування, необхідно знати апаратну частину об'єкта, його фізичні або електричні властивості. Програмування для вбудованих систем вважається окремим напрямком. Embedded-розробник займається розробкою, супроводом, тестуванням програмно-апаратних засобів. У статті розглядаються питання, які пов'язані з особливостями практичної підготовки та формуванням професійної компетентності з програмування вбудованих систем здобувачами освіти, що навчаються за галуззю знань 12 Інформаційні технології, 17 Електроніка та телекомунікації програмно-апаратним комплексом «Arduino Learner Kit» на основі платформи Arduino Nano. Програмно-апаратний комплекс «Arduino Learner Kit» призначений для експериментів з керування світлодіодами, генерування кольору та регулювання яскравості RGB світлодіоду, створення тонального сигналу, обробки подій тактових кнопок, зчитування даних з потенціометра, датчика DHT11, LM35, виведення інформації на семисегментний дисплей, світлодіодний матричний індикатор, LCD-індикатор, ущільнення портів Arduino регістром зсуву 74HC595, обміну даних через інтерфейс SPI (MAX7219) та I2C (DS1307). Запропонований підхід застосування фізичного та віртуального стенда «Arduino Learner Kit» для навчання за змішаною та дистанційною формою. Технологія навчання програмно-апаратним комплексом «Arduino Learner Kit» передбачає, що здобувачі освіти вивчають демонстраційні програми з кожною теми та знайомляться з їх роботою на віртуальному стенді «Arduino Learner Kit» та досліджують роботу на реальному стенді відповідно до особливостей освітнього процесу в закладі освіти. Розкрито особливості моделювання, тестування та налагодження проєктів з Arduino у середовищі Proteus 8.X. Наводиться перелік тем для формування навичок програмування Arduino, складання схем з готових модулів та деталей з використанням програмно-апаратного комплексу «Arduino Learner Kit», які впроваджені в освітній процес.

Ключові слова: вбудована система; embedded-розробник; програмування мікроконтролерів; платформа Arduino; програмно-апаратний комплекс; віртуальний стенд; освітній процес.

Постановка проблеми. Процес написання програм для мікроконтролерів складається з декількох етапів: підготовка вихідного тексту програми мовою програмування; компіляція програми; налагодження й тестування програми; остаточне програмування. Програмування для мікроконтролерів має особливості: розробка програмного та апаратного забезпечення проводиться в тісному взаємозв'язку; застосовуються ефективні та не вимогливі до ресурсів алгоритми; програмне забезпечення розробляється на іншій, більш потужній платформі, код завантажується в мікроконтролер для налагодження або в процесі виробництва готового виробу.

Такі особливості розробки програмного забезпечення властиві не тільки для мікроконтролерів, але і для ширшого класу вбудованих систем (embedded systems). Програмування для них вважається окремим напрямком.

Embedded-розробник займається розробкою, супроводом, тестуванням програмно-апаратних засобів. Embedded-розробники працюють не тільки з програмним забезпеченням (Software), а й з апаратним (Hardware).

Фахівці з вбудованих систем мають значний попит на ринку праці як в Україні, так і у світі. На них покладають впровадження технологій інтернету речей (IoT), промислового інтернету речей (IIoT) та переходу світової економіки на новий технологічний уклад «Індустрія 4.0». Щоб стати Embedded-розробником необхідно

сформувати компетенції з електроніки та цифрової схемотехніки, програмування мікроконтролерів, методів передачі даних та протоколів Інтернет, програмування мобільних додатків, складання та прототипування конструкцій з готових модулів та деталей.

Програмно-апаратна платформа Arduino дозволяє зробити легкий початковий старт з формування базових компетенцій фахівців для вбудованих систем.

Проєкт Arduino служить освітнім цілям, тому наочний і має добре документування. Книжки для початківців Arduino містять не тільки детально розібрані приклади простих пристроїв на Arduino, але і роз'яснюють основи електроніки зі схемами та ілюстраціями.

Arduino – це платформа, яка призначена для фізичних обчислень з відкритим програмним кодом, побудована на простій друкованої платі з сучасним середовищем для написання програмного забезпечення. Тому актуальним є програмно-апаратні засоби практичної підготовки висококваліфікованого embedded-фахівця на платформі Arduino.

Мета статті – поширення досвіду розроблення та впровадження в освітній процес та наукові дослідження програмно-апаратного комплексу «Arduino Learner Kit» на основі платформи Arduino Nano з архітектурою вбудованого процесора AVR.

Аналіз досліджень та публікацій. Одним з перших системних підходів до проведення лабораторно-практичних робіт з дисциплін «Цифрові пристрої та мікропроцесори», «Мікропроцесорні пристрої та системи», «Мікропроцесорні системи управління», «Програмовані електронні вбудовані пристрої», «Смарттехнології та інтернет речей» зробила компанія Open System, яка розробила навчально-лабораторний стенд EV8031/AVR [1]. Модульна конструкція стенду максимально скорочує час на підготовку устаткування до лабораторних робіт і дозволяє, при необхідності, розширювати його функціональні можливості відповідно до специфіки дисциплін, які вивчаються. Віртуальний комп'ютерний стенд для програмного середовища Proteus VSM є аналогом навчально-лабораторного стенда EV8031/AVR та дозволяє набуту студентам практичних навичок розробки та створення як апаратної, так і програмної частини мікропроцесорної системи [2].

Стенд LMacPic24-64 [3] використовується для вивчення мікроконтролерів на базі 16-розрядного сімейства PIC24 фірми Microchip. Лабораторний стенд «Inel-STM» [4] дозволяє опанувати розробку програмного та апаратного забезпечення мікропроцесорних та спеціалізованих комп'ютерних систем з архітектурою вбудованого процесора ARM® Cortex®-M4.

У публікаціях [5, 6] акцент зроблений на розробку демонстраційного програмного забезпечення для набору ARDUINO-LITE-KIT.

Однак, найцікавішими є роботи [7, 8, 9]. У статті [7] розглядаються особливості застосування лабораторного макета для напрацювання навичок прикладного програмування вбудованих систем на базі модулів Arduino та розробки мобільних додатків на платформі Android для керування даною системою. Стаття [8] розглядає питання, які пов'язані з отриманням практичних навичок з розробки та проєктування апаратно-програмного забезпечення для вбудованих систем з використанням інтернету речей на базі Wi-Fi-модуля NodeMcu з ESP8266, який рекомендується застосовувати замість модуля Arduino Nano в проєктах IoT. Навчальний набір Online Kits, який побудований на платі WeMos-D1 з модулем ESP8266-12 (аналог Arduino Uno) пропонується для практичного онлайн-навчання IoT під час пандемії [9].

Виклад основного матеріалу. Arduino – це відкрита мікроконтролерна програмно-апаратна платформа. Візуально Arduino становить невелику друковану плату з встановленим мікроконтролером (МК), кварцовим резонатором, стабілізатором живлення, конвертором USB-UART та уніфікованої «гребінкою» контактів, які підводять сигнали до цифрових та аналогових портів. Електронне «об'язування» МК,

що входить в Arduino, гарантує безпомилкову роботу пристрою на апаратному рівні, високу завадостійкість та простоту програмування. Користувачеві залишається лише зібрати схему, приєднати Arduino до комп'ютера і запустити безплатне середовище проектування, яке містить компілятор, налагоджувач та програматор.

До плати Arduino можна приєднувати окремі модулі (шилди) зі своїми друкованими платами та стандартним набором сигналів. Шилди значно полегшують з'єднання МК з інтелектуальними периферійними пристроями, наприклад з модулем GSM, GPS, Ethernet, Bluetooth, X-Bee, WiFi. На рис. 1.1 наведена узагальнена структурна схема плати Arduino. Ядром Arduino є AVR-контролер, що тактується від кварцового резонатора частотою 16 МГц. Лінії портів МК виводяться назовні на контактну «гребінку» плати без яких-небудь обмежувальних або захисних елементів. Початкове скидання проводиться кнопкою SB1. На платі є 4 світлодіодних індикатори, з яких 3 службові та один («L») користувача. Зв'язок з комп'ютером здійснюється через конвертор USB-UART. Живлення на нього та на Arduino 5 В надходить від комп'ютера. Також передбачено зовнішнє живлення через роз'єм POWER від «мережевої вилки» з напругою 9... 12 В.

Вхідні та вихідні сигнали МК поділяються за функціональною ознакою на такі групи: цифрові входи (IN), цифрові виходи (OUT), аналогові входи (АЦП), аналогові виходи (ШІМ). Схемотехніка підключення зовнішніх вузлів по входу та виходу буде такою ж, як і для звичайних МК. Розробники не встановлюють обмежень на тип МК, застосований у Arduino, тому в його численних клонах використовують 8...32-бітні AVR, PIC-ARM-, Cortex-контролери. Кількість пінів (портів вводу/виходу) також може відрізнятися. Але для всіх моделей Arduino залишається незмінним принцип поділу портів на цифрові та аналогові, на входи та виходи.

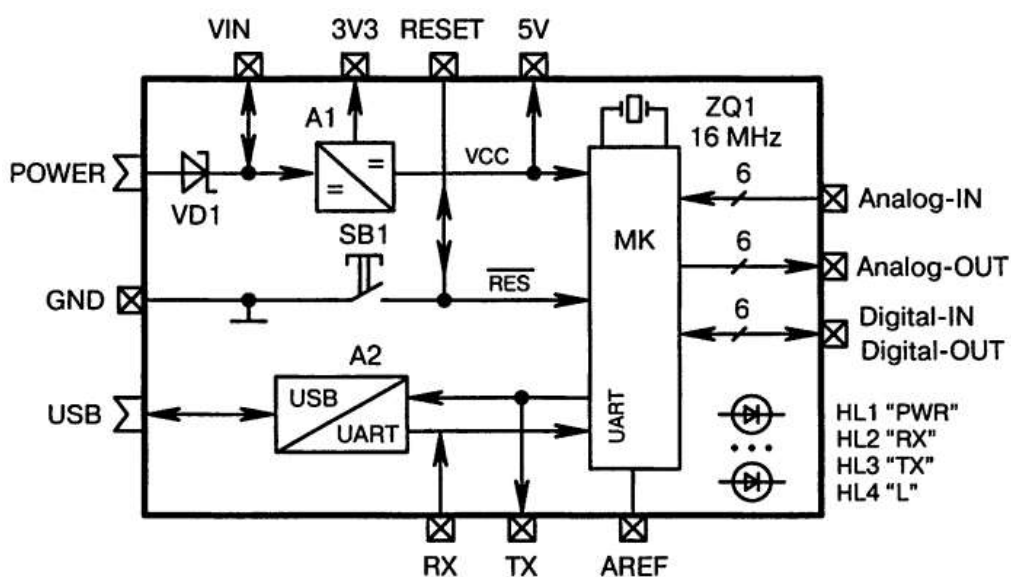


Рис. 1. Структурна схема Arduino

Схеми з Arduino легко збираються і так само легко розбираються. Конструкції з Arduino часто робляться на breadboard (макетних платах), в яких монтаж ведеться за допомогою відрізків проводів та навісних радіоелементів, що вставляються в гнізда.

Такі теми дозволяють сформувати базові компетентності Embedded-розробника на платформі Arduino: цифровий вихід (керування декількома світлодіодами, створення тонального сигналу), аналоговий вихід (генерування кольору RGB світлодіода, регулювання яскравості світлодіода), цифровий вхід (обробка тактових кнопок,

зчитування даних з датчика DHT11), аналоговий вхід (зчитування аналогових даних з потенціометра; зчитування даних з датчика температури LM35), мультиплексування (керування семисегментним дисплеєм, ущільнення портів Arduino), комунікація SPI (регістр зсуву 74HC595 та семисегментний дисплей, MAX7219 та світлодіодна матриця 8×8), зв'язок I2C (зчитування, відображення та встановлення дати та часу з годинника реального часу DS1307), інтерфейс дисплея (керування LCD-дисплеєм 16×2 символів), зв'язок UART (модуль Bluetooth, GPS).

Оптимізувати процес навчання дозволяє програмно-апаратний комплекс «Arduino Learner Kit» [10], який призначений для експериментів з усіма вищезазначеними темами і є ідеальним набором для вивчення програмування Arduino.

Програмно-апаратний комплекс «Arduino Learner Kit» має 6 світлодіодів, 1 світлодіод RGB, 1 потенціометр, 1 датчик температури LM35, 1 датчик температури та вологості DHT11, 4 тактових кнопки, 4 позиційний семисегментний дисплей, 1 матричний дисплей 8×8 з регістром керування MAX7219, 1 регістр зсуву 74HC595, 1 зумер, 1 LCD-дисплей 16×2, 1 годинник реального часу DS1307, універсальний роз'єм 3 Grove. На рис. 2 наведена схема розміщення елементів програмно-апаратного комплексу «Arduino Learner Kit», яка надає уявлення про його конструкцію.

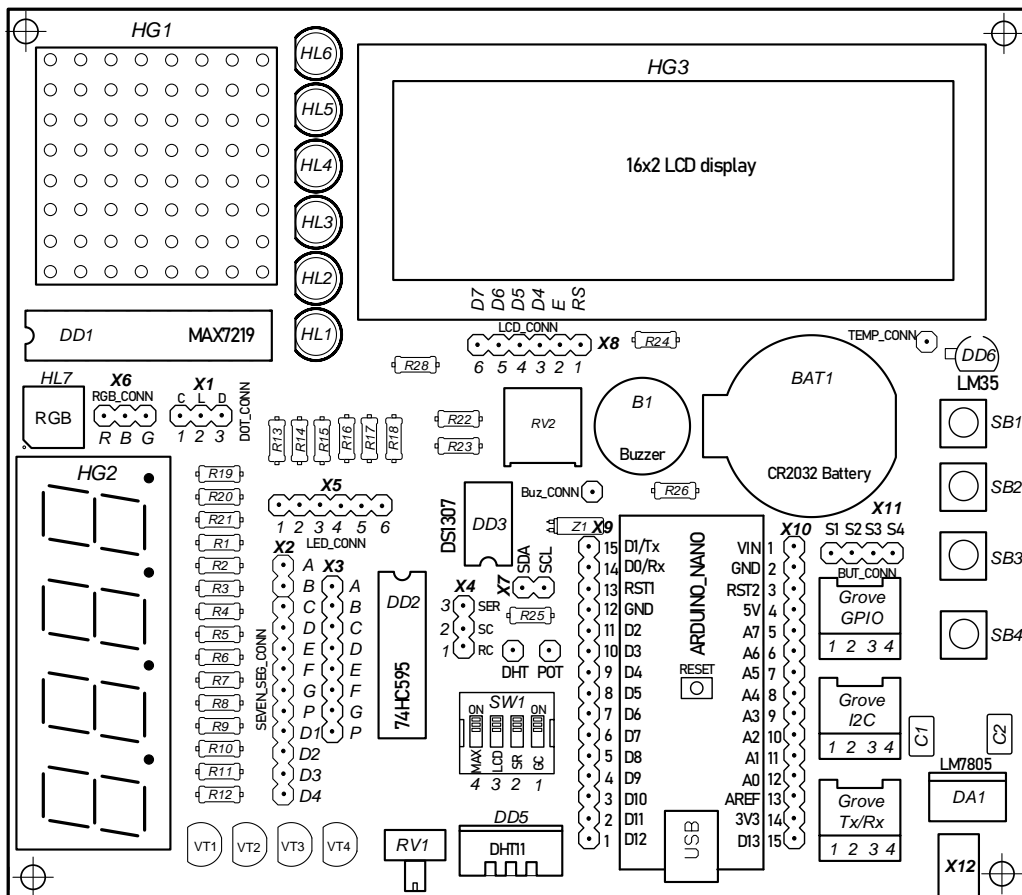


Рис. 2. Схема розміщення елементів стенда «Arduino Learner Kit»

В умовах дистанційного та змішаного навчання постає питання доступу до стенда «Arduino Learner Kit» здобувачів освіти. Викладачі, що використовують реальні лабораторні макети, можуть замінити виконання завдань з віртуальною електронною схемою у пакетах прикладних програм Proteus, MultySym, MicroCap. Ці пакети мають студентські версії та їх потрібно встановлювати локально на свій комп'ютер. Для

моделювання роботи елементів схеми станда «Arduino Learner Kit» можна скористуватись онлайн програмним засобом Tinkercad Circuits [11] або додатком UnoArduSim V2.6 [12]. Обидва додатки є безкоштовними симуляторами Arduino Uno, що надають можливість побачити хід виконання програми в реальному часі без наявності самої плати Arduino Uno.

Віртуальний аналог «Arduino Learner Kit» розроблений у середовищі Proteus 8 [2, 13]. На першій аркуш (рис. 3) винесені усі основні елементи станда. Це дозволяє оперативно аналізувати його роботу та програмного забезпечення.

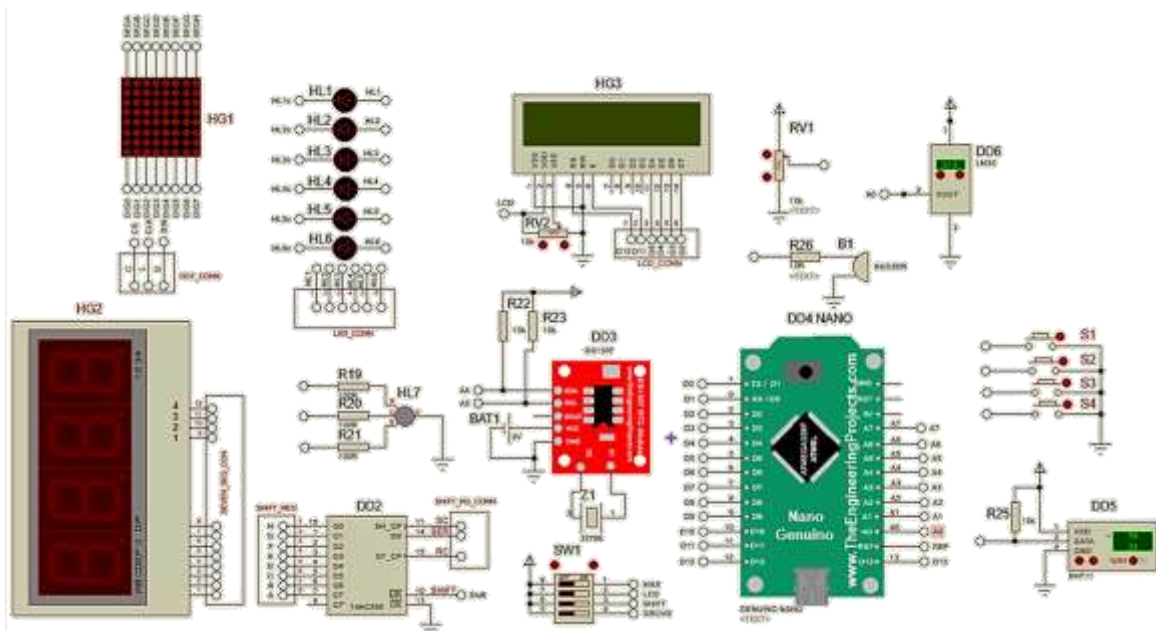


Рис.3. Віртуальний стенд «Arduino Learner Kit» у середовищі Proteus 8

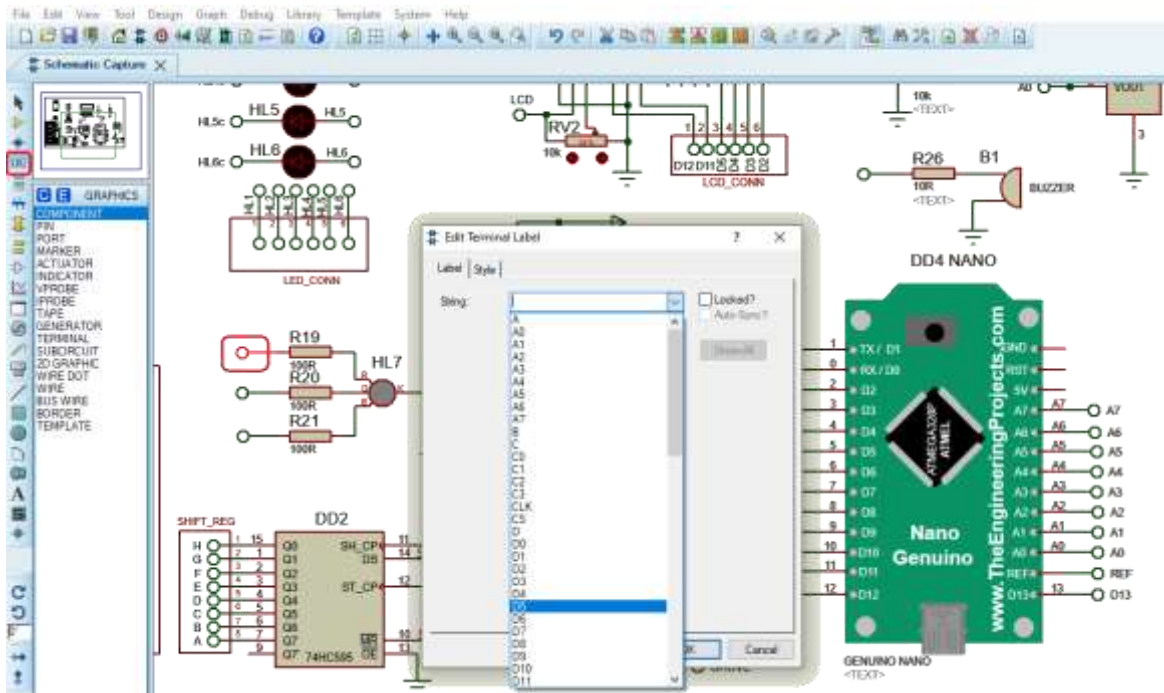


Рис. 4. Підключення елементів до Arduino Nano в середовищі Proteus

Позначення елементів, виводи та їх адресація відповідає реальній схемі Arduino Learner Kit. Розташування елементів віртуального стенда, з'єднувачі та їх контакти максимально відповідають рис. 2. Для підключення елементів до контактів Arduino Nano використовуються Terminals з'єднувачі, для яких потрібно вказати мітку (Label) з'єднання. Наприклад, для підключення контакту HL7 до порту D5 Arduino Nano, необхідно активувати режим Wire Label Mode (піктограма «LBL»), виділити Terminal та вибрати у контекстному меню режим «Edit Terminal Label». У спадному списку String вибираємо мітку D5 (рис. 4). У реальному макеті використовується провідник для з'єднання контакту 3 (X6) та контакту 8 (X9).

Для завантаження HEX-файлу в мікроконтролер віртуального стенда «Arduino Learner Kit» необхідно відкрити вікно властивостей мікроконтролера, де у полі Program File вказати шлях до файлу, як показано на рис. 5. Файл з розширенням .HEX створюється після компіляції файлу з лістингом програми у середовищі Arduino IDE. Для його отримання потрібно вибрати пункт меню Sketch →Export Compiled Binary.

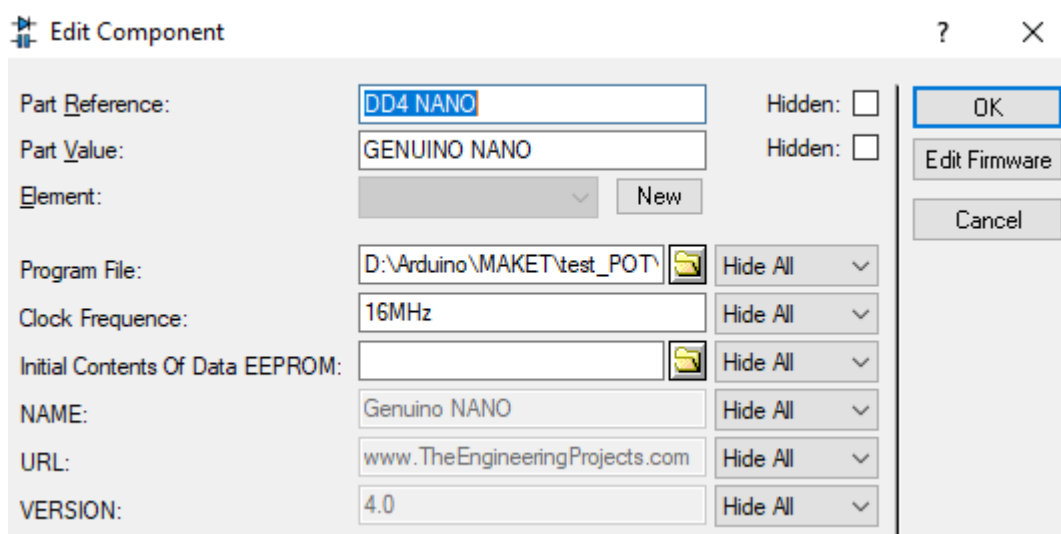


Рис. 5 – Вікно властивостей мікроконтролера

Для роботи з програмно-апаратним комплексом «Arduino Learner Kit» необхідно ознайомитись зі схемотехнікою, конструкцією реального стенда, встановити середовище Arduino IDE та демонстраційну версію Proteus Professional V8.X, ознайомитись з особливостями роботи з віртуальним стендом. Технологія навчання програмно-апаратним комплексом «Arduino Learner Kit» передбачає, що здобувачі освіти вивчають демонстраційні програми з кожною теми та знайомляться з їх роботою на віртуальному стенді «Arduino Learner Kit» та досліджують роботу на реальному стенді відповідно до особливостей освітнього процесу в закладі освіти. Наступним кроком є виконання індивідуальних завдань, які передбачають застосування фрагментів демонстраційних програм, але містять елементи новизни. Для цього здобувачі освіти розробляють нову програму (скетч) в середовищі Arduino IDE, отримують .HEX файл, вносять зміни у з'єднанні елементів, що підключаються до Arduino Nano, в середині віртуального стенда, налагоджують роботу програми відповідно до поставленої програми. Налагоджену програму завантажують у реальний стенд та тестують її роботу, за необхідністю вносять зміни до програми, тому що реальна робота Arduino Nano може відрізнятись від віртуальної моделі, особливо це пов'язано з програмами, де використовуються часові інтервали, переривання, тактові кнопки, елементи введення даних. В умовах змішаного навчання роботу з віртуальним стендом пропонується виконувати здобувачами освіти в

домашніх умовах, а роботу з реальним стендом у закладі освіти. В умовах дистанційного навчання етап роботи з реальним стендом виконується за технологією віддаленого керування робочим місцем. Для цього в освітньому закладі фізичні стенди з різною конфігурацією підключення світлодіодів, зумера, потенціометра, тактових кнопок, семисегментного індикатора, LCD-індикатора, світлодіодної матриці, датчиків температури підключаються до декількох комп'ютерів з доступом до Інтернету на яких встановлене середовище Arduino IDE. Віддалений доступ до комп'ютерів освітнього закладу реалізується сервісом AnyDesk [14].

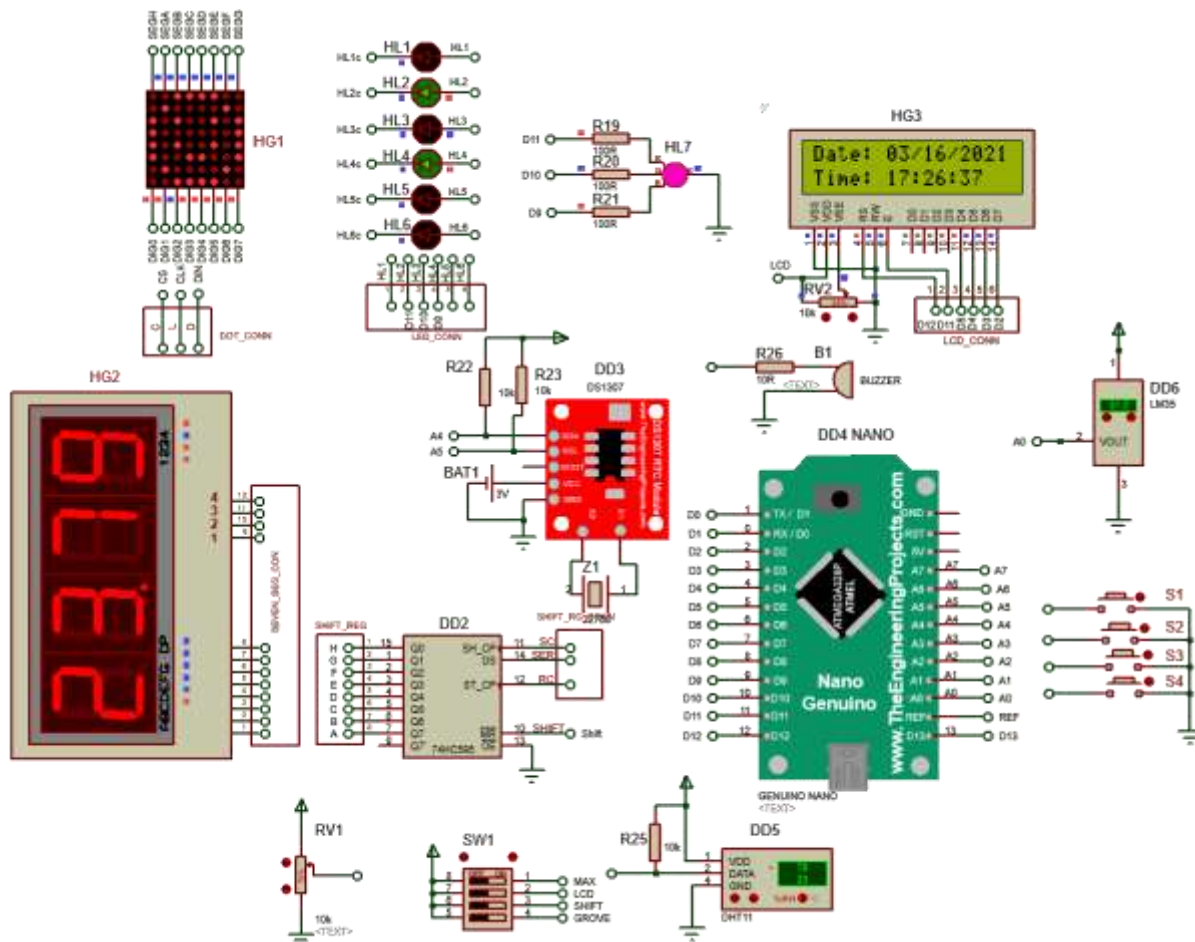


Рис. 6. Приклад роботи віртуального стенда «Arduino Learner Kit»

Навчання з програмно-апаратним комплексом «Arduino Learner Kit» у змішаному форматі пройшли студенти четвертого курсу радіотехнічного відділення Вінницького технічного коледжу. Вони опанували десять тем: робота з портами вводу-виводу плати Arduino, робота переривань, широтно-імпульсна модуляція та аналого-цифровий перетворювач мікроконтролера Arduino, робота з RGB світлодіодом, з семисегментним індикатором та з регістром зсуву 74HC595, робота з LCD – дисплеєм, матричним світлодіодним індикатором, дослідження роботи датчика температури LM35, датчика температури та вологості DHT11, робота з інтерфейсом TWI (I2C) та годинником реального часу DS1307. Приклад реалізації деяких індивідуальних завдань на віртуальному стенді «Arduino Learner Kit» наведені на рис.6.

Сформовані компетентності за результатами навчання з програмно-апаратним комплексом «Arduino Learner Kit» дозволило близько 80% здобувачам освіти Вінницького технічного коледжу обрати теми дипломного проєкту з практичним

виконанням у напрямку вбудованих систем та застосуванням програмно-апаратної платформи Arduino.

У перспективі планується додати модулі розширення до «Arduino Learner Kit» з опанування навичок роботи з двигуном постійного струму, кроковим двигуном та сервоприводом, адресною світлодіодною стрічкою (aRGB), ультразвуковим датчиком відстані HC-SR04, модулем Bluetooth HC-08, WiFi модулів ESP8266 ESP-01, що дозволить сформувати професійні компетентності з роботехніки та інтернету речей які також необхідні для embedded-розробників.

Висновки. Arduino вивчають в університетах, коледжах, середніх школах і навіть початкових школах. Вона стала «де факто» для введення до електроніки та програмування. Платформа Arduino має потужну мережеву спільноту прихильників та документацію, а також легкі для розуміння інструкції та численні проекти.

Практико-орієнтований підхід з розв'язання прикладних задач із застосування програмно-апаратного комплексу «Arduino Learner Kit» дозволяє сформувати професійні компетентності embedded-фахівців.

Ринкове середовище формує вимоги до молодих фахівців, а конкуренція між закладами вищої та фахової передвищої освіти надає можливість підготувати висококваліфікованого фахівця. Досвід набутий при реалізації матеріалів статті є корисним для професійного зростання та отримання практичних навичок з розробки та проектування апаратно-програмного забезпечення для вбудованих систем з використанням платформи Arduino, що у перспективі дозволить реалізувати проекти інтернету речей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Учебно-отладочный стенд EV8031/AVR. URL: <http://opensys.com.ua/Stend/Ev8031> (дата звернення: 17.02.2021).
2. Цирульник С. М, Роптанов В. І. Комп'ютеризований лабораторний віртуальний стенд. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2010. №4. С. 94-98.
3. Гринчак Н. В., Кузьмичева Е. В. Стенд для изучения микроконтроллеров. Технологический аудит и резервы производства. 2013. № 6 (4). С.15-17.
4. Войтенко В. П., Білорус І. М. Навчальний лабораторний стенд «INEL-STM». Технічні науки та технології. 2016. №. 3 (5). С. 131.
5. Шолом П. С., Семенюк В. Я., Беляков О. В. Програмне забезпечення налагоджувальної плати ARDUINO-LITE-KIT. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2015. № 20. С. 101-105.
6. Глухов О. В., Кравчук О. О., Левченко Є. В. Створення лабораторного практикуму на основі платформи Arduino і його роль в навчанні студентів технічних ВНЗ усіх форм навчання спеціальності «Електроніка». Перспективи розвитку сучасної науки та освіти (частина II): матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (Львів, 15-16 червня 2020 р.). Львів: Львівський науковий форум, 2020. С. 13.
7. Цирульник, С. М., Ткачук В. М., Роптанов В. І. Прикладне програмування Embedded та IOT пристроїв. INTERNET-EDUCATION-SCIENCE (IES-2020): матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції (Вінниця, 26-29 травня 2020 р.). Вінниця: ВНТУ, 2020. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30960>.
8. Цирульник С. М. Мобільні додатки та онлайн платформи моніторингу даних WI-FI метеостанції. Open educational e-environment of modern University. 2020. № 9. С.181-192. DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2020.9.15>
9. Rahman, N., Muhammad, R., Khairul, S. Development of educational kit for IoT online

- learning. International Journal of Technology, Innovation and Humanities. Vol. 1, №1, 2020. P. 26-32. DOI : <https://doi.org/10.29210/881001>.
10. Open Source Arduino Learner Kit V2. URL: <https://www.instructables.com/Open-Source-Arduino-Learner-Kit-V2> (дата звернення: 17.02.2021).
 11. Autodesk Tinkercad Simulation of Arduino UNO Ping Pong Game V2.0. URL: <https://www.instructables.com/Autodesk-Tinkercad-Simulation-of-Arduino-UNO-Ping-/> (дата звернення: 17.02.2021).
 12. Эмулятор Arduino UnoArduSim позволяет тестировать код без аппаратных средств. URL: <https://cutt.ly/Qf2cIiB> (дата звернення: 17.02.2021).
 13. Цирульник С. М., Лисенко Г. Л. Проектування мікропроцесорних систем. Вінниця: ВНТУ, 2012. 201 с.
 14. Цирульник С. М. Підходи до організації лабораторно-практичних занять під час дистанційного навчання. Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ: матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет конференції (Вінниця, 9-10 листоп. 2020 р.). Суми/Вінниця: НІКО/ВНТУ, 2020. С. 268-272. URL: <http://socrates.vsau.edu.ua/repository/getfile.php/27917.pdf> (дата звернення: 17.02.2021).

SOFTWARE AND HARDWARE SYSTEM «ARDUINO LEARNER KIT»

Tsyurulnyk Serhii

PhD (technical sciences), Assistant Professor of the Department of Computer Science and Economic Cybernetics Vinnitsia National Agrarian University, Vinnitsia Technical College, Vinnitsia, Ukraine

sovnm@ukr.net

ORCID: 0000-0002-5703-9761

Abstract. The difference between programming embedded systems from the classical one is that in addition to knowledge of the theory of algorithms, programming languages, it is necessary to know the hardware of the object, its physical or electrical properties. Programming for embedded systems is considered a separate area. Embedded-developer is engaged in the development, maintenance, testing of software and hardware. The article considers issues related to the peculiarities of practical training and the formation of professional skills in programming embedded-systems by students studying in the field of knowledge 12 Information Technology, 17 Electronics and Telecommunications software and hardware complex "Arduino Learner Kit" based on the platform Arduino Nano. The software-hardware system "Arduino Learner Kit" is intended for experiments on the control of LEDs, generation of color and adjustment of the brightness of RGB LED, creation of a tone signal, processing of events of clock buttons, reading of data from the potentiometer, DHT11 sensor, LM35 sensor, seven-segment display, LED dot matrix indicator, LCD-indicator, Arduino port sealing by shift register 74HC595, data exchange via SPI interface (MAX7219), and I2C (DS1307). The approach of the application of the physical and virtual stand "Arduino Learner Kit" for training on the mixed and distance form is offered. Arduino Learner Kit software and technology teaches that students study demonstration programs on each topic and get acquainted with their work on the virtual stand "Arduino Learner Kit" and explore the work on the real stand by the peculiarities of the educational process in the educational institution.

Features of modeling, testing, and debugging of projects with Arduino in the Proteus 8.X environment are revealed. The list of topics for the formation of Arduino programming skills, drawing diagrams from ready-made modules and parts using the software and hardware system "Arduino Learner Kit", which are implemented in the educational process.

Keywords: embedded system; embedded-developer; microcontroller programming; Arduino platform; software and hardware system; virtual stand; educational process.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Training and debugging stand EV8031/AVR (2021). February 17, 2021. <http://opensys.com.ua/Stend/Ev8031> (in Russian).
2. Tsyrlunyk, S. M. & Roptanov, V. I. (2010). Computerized laboratory virtual stand. *Visnyk Vinnycjkogho politekhnichnogho instytutu*, 4, 94-98 (in Ukrainian).
3. Ghrynychak, N. V. & Kuzjmycheva E. V (2013). Stand for studying microcontrollers. *Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva*, 6 (4), 15-17 (in Russian).
4. Vojtenko, V. P. & Bilorus, I. M. (2016). Educational laboratory stand «INEL-STM». *Tekhnichni nauky ta tekhnologhiji*, №. 3 (5), 131 (in Ukrainian).
5. Sholom, P. S., Semenjuk, V. Ja. & Bjeljakov, O. V. (2015). Debugging software ARDUINO-LITE-KIT. *Komputerno-integhrovani tekhnologhiji: osvita, nauka, vyrobnyctvo*, № 20, 101-105 (in Ukrainian).
6. Ghlukhov, O. V., Kravchuk, O. O. & Levchenko, Je. V. (2020). Creation of a laboratory workshop based on the Arduino platform and its role in teaching students of technical universities of all forms of education in the specialty "Electronics". In Proceedings of the eleventh international scientific-practical conference «Prospects for the development of modern science and education», Lviv, 15-16 June, 2020: 13, Lviv (in Ukrainian).
7. Tsyrlunyk, S. M., Tkachuk, V. M. & Roptanov, V. I. (2020). Application programming of Embedded and IOT devices. In Proceedings of the eleventh international scientific-practical conference «INTERNET-EDUCATION-SCIENCE (IES-2020)», Vinnytsia, 26-29 May, 2020, Vinnytsia. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30960> (in Ukrainian).
8. Tsyrlunyk, S. M. (2020). Mobile applications and online WI-FI monitoring platforms of weather stations. *Open educational e-environment of modern University*, № 9, 181-192. DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2020.9.15> (in Ukrainian).
9. Rahman, N., Muhammad, R. & Khairul, S. (2020). Development of educational kit for IoT online learning. *International Journal of Technology, Innovation and Humanities*, 1.1, 26-32. DOI : <https://doi.org/10.29210/881001>
10. Open Source Arduino Learner Kit V2 (2021). February 17, 2021. <https://www.instructables.com/Open-Source-Arduino-Learner-Kit-V2>
11. Autodesk Tinkercad Simulation of Arduino UNO Ping Pong Game V2.0 (2021). February 17, 2021. <https://www.instructables.com/Autodesk-Tinkercad-Simulation-of-Arduino-UNO-Ping-/>
12. The Arduino UnoArduSim emulator allows you to test code without hardware (2021). February 17, 2021. <https://cutt.ly/Qf2cIiB> (in Russian).
13. Tsyrlunyk, S. M. & Lysenko, G. L. (2012). Design of microprocessor systems. Vinnytsia: VNTU. 202 p. (in Ukrainian).
14. Tsyrlunyk, S. M. (2020). Approaches to the organization of laboratory-practical classes during distance learning. In Proceedings of the eleventh international scientific-practical conference «Electronic information resources: creation, use, access», Vinnytsia, 9-10 November, 2020: 268-272, Sumy/Vinnytsia. February 17, 2021. <http://socrates.vsau.edu.ua/repository/getfile.php/27917.pdf> (in Ukrainian).