МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет електроніки та комп'ютерних технологій
Кафедра радіофізики та комп'ютерних технологій

Затверджено
На засіданні
кафедри радіофізики та комп'ютерних технологій
факультету електроніки та комп'ютерних технологій
Львівського національного університету імені Івана Франка
(протокол № від 2025 р.)

Завідувач кафедри:

_____ Іван КАРБОВНИК

Силабус з навчальної дисципліни "Апаратне забезпечення вбудованих систем", що викладається в межах ОПП "Інженерія програмного забезпечення" першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення

Львів 2025 р.

Назва дисципліни	Апаратне забезпечення вбудованих систем
Адреса викладання дисципліни	Корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Драгоманова 50, м. Львів, 79005, вул. Ген. Тарнавського 107, м. Львів, 79011
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет електроніки та комп'ютерних технологій Кафедра радіофізики та комп'ютерних технологій
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	12 – інформаційні технології 121 – Інженерія програмного забезпечення
Викладачі дисципліни	Карбовник І.Д., доктор фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри радіофізики та комп'ютерних технологій
Контактна інформація викладачів	ivan.karbovnyk@lnu.edu.ua , https://electronics.lnu.edu.ua/employee/karbovnyk-i-d
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю): ауд. 324, корпус факультету електроніки та комп'ютерних технологій, вул. Тарнавського 107, м. Львів
Сторінка курсу	
Коротка анотація дисципліни	Дисципліна " Апаратне забезпечення вбудованих систем" є дисципліною вільного вибору зі спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення для освітньої програми "Інформаційні системи та технології", яка викладається у 7-му семестрі в обсязі 4-ох кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Інформація про дисципліну	Курс розроблено для ознайомлення студентів з фундаментальними принципами апаратної частини вбудованих систем з обмеженнями ресурсів.
Мета та цілі дисципліни	*Мета:* вивчити основи архітектури програмного забезпечення вбудованих систем та типовими підходами до ефективного вирішення практичних задач з використанням вбудованих систем. *Цілі:* сформувати системне уявлення про вбудовані обчислювальні системи як фундамент сучасних електронних пристроїв; Стимулювати інженерне мислення, вміння проектувати, аналізувати та вдосконалювати вбудовані пристрої, враховуючи обмеження енергоспоживання, обчислювальні ресурси та умови експлуатації.
Література для вивчення дисципліни	1) Istvan Nagy. *Complex Digital Hardware Design*. – CRC Press, 2024. – 618p. https://www.google.com.ua/books/edition/Complex_Digital_Hardware_Design/L1YIEQAAQBAJ?hl=en&gbpv=0 2) Klaus Elk. *Microcontrollers with C: Cortex-M and Beyond*. – Independently published, 2023. – 229p. https://klauselk.com/pages/microcontrollers.php

	3) Daniele Lacamera. *Embedded Systems Architecture: Design and write software for embedded devices to build safe and connected systems*. – Packt, 2023. – 342p. https://www.packtpub.com/en-ee/product/embedded-systems-architecture-9781803242057 4) Dylan Hemsworth. *ESP32 ESP-IDF Cookbook: A Practical A-Z Guide for Programmers*. – Kindle, 2025. – 319p. 5) Електронний ресурс: ESP-IDF Programming Guide. https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v5.0.8/esp32/esp-idf-en-v5.0.8-esp32.pdf. Release v5.0.8, Espressif Systems, Jan 17, 2025.
Обсяг курсу	Загальний обсяг: 120 годин. Аудиторних занять: 64 год., з них 32 год. лекційних та 32 годин лабораторних робіт. Самостійної роботи: 56 год.
Очікувані результати навчання	У результаті вивчення даного курсу студент буде: **знати:** основні поняття та складові вбудованих систем - мікроконтролери, пам'ять, периферія, інтерфейси, принципи роботи з цифровими та аналоговими входами/виходами, призначення та відмінності інтерфейсів UART, SPI, I2C, основи бездротових комунікацій, а також принципи енергозбереження та режими сну у мікроконтролерах. **вміти**: - налаштовувати середовище розробки для програмування вбудованої системи з обмеженими апаратними ресурсами; - програмувати мовою C/C++ для керування GPIO, таймерами, ШІМ, АЦП/ЦАП; - підключати та зчитувати дані з датчиків через цифрові та аналогові входи. - здійснювати бездротову передачу даних через Wi-Fi або BLE. - реалізовувати енергозберігаючі режими та застосовувати функції FreeRTOS; - розробляти, тестувати та презентувати завершені прототипи вбудованих пристроїв. Після вивчення даного курсу студенти набудуть таких Загальних та Фахових компетентностей та Програмних результатів навчання: К01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. К02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. К14. Здатність брати участь у проектуванні програмного забезпечення, включаючи проведення моделювання (формальний опис) його структури, поведінки та процесів функціонування. К15. Здатність розробляти архітектури, модулі та компоненти програмних систем. К20. Здатність застосовувати фундаментальні і міждисциплінарні знання для успішного розв'язання завдань інженерії програмного забезпечення. К26. Здатність до алгоритмічного та логічного мислення ФК18. Здатність розробляти архітектури, модулі та компоненти програмних систем. ПР23: Вміти документувати та презентувати результати розробки програмного забезпечення.
Ключові слова	Вбудовані системи, програмування, апаратне забезпечення
Формат курсу	Очний

<table>
<tr><td>Теми</td><td>Тема 1. Вступ до вбудованих систем. Типові сфери застосування.
Тема 2. Архітектура мікроконтролерів. Пам’ять, периферія, GPIO
Тема 3. Цифрова логіка вбудованої системи. Порти вводу/виводу..
Тема 4. Таймери та ШІМ.
Тема 5. ЦАП.
Тема 6. АЦП.
Тема 7. Послідовні інтерфейси UART, I2C, SPI.
Тема 8. Інтеграція сенсорів.
Тема 8. Файлова система для мікроконтролера.
Тема 9. Принципи енергозбереження та режими сну в мікроконтролерах.
Тема 10. Вбудовані засоби бездротової комунікації частина 1.
Тема 11. Вбудовані засоби бездротової комунікації частина 2.
Тема 12. Принципи безпеки.
Тема 13. Механізми OTA оновлення.
Тема 14. Етапи проєктування та відлагодження вбудованих пристроїв.
Тема 15. Приклади вбудованих рішень та їхні особливості.
Тема 16. Підсумкова лекція.</td></tr>
<tr><td>Підсумковий контроль, форма</td><td>Залік у кінці семестру</td></tr>
<tr><td>Пререквізити</td><td>Для вивчення даного курсу студентам потрібні базові знання з курсів:
- архітектура комп'ютерів і комп’ютерна електроніка;
- основи вбудованих систем;
- операційні системи, системне програмування;
- алгоритмізація і програмування;
- об’єктно-орієнтоване програмування.</td></tr>
<tr><td>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</td><td>Інформаційні методи (лекція, бесіда, ілюстрація, демонстрація);
дедуктивні методи на основі узагальнень;
евристичні методи (проблемна лекція);
інтерактивні методи (дискусія).</td></tr>
<tr><td>Необхідне обладнання</td><td>Комп’ютери із необхідним програмним забезпеченням, доступ до Internet мережі, плати розробника на основі сімейства SoC ESP32.</td></tr>
<tr><td>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</td><td>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням:
• Змістовий модуль 1: 25% семестрової оцінки за виконані лабораторні роботи.
• Змістовий модуль 2: 25% семестрової оцінки за виконані лабораторні роботи.
• Залік: 50% семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50.
Підсумкова максимальна кількість балів 100.

<table>
<tr><th colspan="16">Поточне тестування та самостійна робота</th><th rowspan="2">Підсумковий тест (екзамен)</th><th rowspan="2">Сума</th></tr>
<tr><th colspan="8">Змістовий модуль 1</th><th colspan="8">Змістовий модуль 1</th></tr>
<tr><td>T1</td><td>T2</td><td>T3</td><td>T4</td><td>T5</td><td>T6</td><td>T7</td><td>T8</td><td>T9</td><td>T10</td><td>T11</td><td>T12</td><td>T13</td><td>T14</td><td>T15</td><td>T16</td><td rowspan="2">50</td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr>
</table>

Академічна доброчесність: Очікується, що роботи студентів будуть оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Списування та втручання</td></tr>
</table>

	в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в написанні завдань є підставою для її незарахуванння викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману. **Відвідування занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та лабораторні зайняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів визначених для виконання всіх видів робіт, передбачених курсом. **Література.** Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих. **Політика виставлення балів.** Враховуються бали, набрані при поточному контролі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.
Питання до заліку	1. Загальні питання Що таке вбудована система? Наведіть приклади її застосування. У чому відмінність вбудованих систем від традиційних обчислювальних платформ (ПК, смартфон)? Які функції виконує мікроконтролер у складі вбудованої системи? 2. Архітектура мікроконтролерів Назвіть основні блоки мікроконтролера. Які існують типи пам'яті у мікроконтролерах? Їх призначення. Що таке System-on-Chip (SoC) і які компоненти включає ESP32? 3. Робота з GPIO і цифровою логікою Що таке GPIO? Які режими роботи вони підтримують? Поясніть поняття «логічний рівень». Як вони представлені в ESP32? Як реалізується керування світлодіодом за допомогою кнопки? 4. Таймери, PWM, аналогові перетворення Що таке широтно-імпульсна модуляція (ШІМ)? Її застосування. Як працює АЦП? Які є обмеження щодо точності та шуму? Принцип дії ЦАП. Які можливості має ESP32 щодо аналогового виходу? 5. Інтерфейси та сенсори Порівняйте UART, I2C та SPI. Їхні переваги та недоліки. Які типи сенсорів можна підключити до ESP32? Як відбувається калібрування? Як працює I2C-сканер? Для чого він використовується? 6. Файлова система Які файлові системи підтримуються в ESP32? Коли обирається SPIFFS, а коли FATFS? Як відбувається зберігання логів у Flash? Які обмеження? 7. Енергозбереження У чому різниця між режимами deep sleep та light sleep? Які події можуть «розбудити» ESP32 із режиму сну? Як можна виміряти енергоспоживання вбудованої системи? 8. Бездротова комунікація Як налаштувати ESP32 у Wi-Fi STA та AP режимах? Як працює простий веб-сервер на ESP32? Поясніть принцип роботи BLE та поняття GATT. 9. Безпека Що таке Secure Element? Яку роль він виконує у вбудованих системах? Як працює шифрування Flash у ESP32? Що таке eFuse? Що таке Secure Boot і як він реалізований? 10. OTA та проєктування Як реалізується OTA-оновлення у ESP32? Які ризики? Основні етапи проєктування вбудованої системи. Які типові помилки виникають під час розробки вбудованих рішень і як їх уникнути? Назвіть приклади реальних вбудованих систем та опишіть їхню архітектуру.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Схема курсу “Апаратне запезпечення вбудованих систем”
для студентів спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення

Тиж.	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття) - лекція, самостійна, дискусія, групова робота	Література, ресурси в інтернеті	Завдання, год	Термін виконання
1	Вступ до вбудованих систем. Визначення, приклади, порівняння з іншими типами обчислювальних систем	Лекція, дискусія	[1]	2	кінець поточного тижня
1	Лаб. 1. Вступне заняття	Лабораторна робота	[4]	2	кінець поточного тижня
2	Архітектура мікроконтролерів. Основні блоки. Типи пам’яті	Лекція	[2]	2	кінець поточного тижня
2	Лаб. 2. Розгортання інфраструктури проєкту для систем на кристалі ESP32	Лабораторна робота	https://github.com/espressif/esp-idf	2	кінець поточного тижня
3	Цифрова логіка. Порти вводу/виводу. Логічні рівні, цифрові сигнали, налаштування	Лекція	[2],[3]	2	кінець поточного тижня
3	Лаб. 3. Робота з GPIO на ESP32	Лабораторна робота	[5]	2	кінець поточного тижня
4	Таймери, ШІМ. Генерація сигналів, керування двигунами, використання широтно-імпульсної модуляції	Лекція	[1], [3]	2	кінець поточного тижня
4	Лаб. 4. Генерація та використання широтно-імпульсного сигналу на ESP32	Лабораторна робота	[5]	2	кінець поточного тижня
5	ЦАП. Принцип роботи цифро-аналогового перетворення, приклади	Лекція	[1], [3],	2	кінець поточного тижня
5	Лаб. 5. Цифро-аналогове перетворення (ЦАП) на ESP32	Лабораторна робота	[4], [5]	2	кінець поточного тижня
6	АЦП. Аналого-цифрове перетворення, точність, масштабування, шум	Лекція	[1], [2], [3]	2	кінець поточного тижня
6	Лаб. 6. Використання каналів АЦП для зчитування аналогових сигналів з потенціометра	Лабораторна робота	[5]	2	кінець поточного тижня
7	Інтерфейси UART, I2C, SPI. Принцип роботи, порівняння, застосування	Лекція	[1], [2]	2	кінець поточного тижня
7	Проміжне підсумкове заняття ЗМ 1.	Лабораторна робота	[5]	2	кінець поточного тижня
8	Інтеграція сенсорів. Типи сенсорів, лінійність, калібрування, приклади	Лекція	[1], [2], [3] Сайт курсу	2	кінець поточного тижня
8	Лаб. 7. Розробка та перевірка I2C сканера	Лабораторна робота	[5]	2	кінець поточного тижня
9	Файлова система. SPIFFS, LittleFS,	Лекція	[3], [4]	2	Кінець

	FATFS. Зберігання даних на Flash / SD				поточного тижня
9	Лаб. 8. Логування та робота з файловою системою SPIFFS	Лабораторна робота	[5]	2	кінець поточного тижня
10	Енергозбереження у вбудованих системах. Режими deep sleep, light sleep. Тригери прокидання. Вимірювання споживання	Лекція	[1], [2]	2	кінець поточного тижня
10	Лаб. 9. Вимірювання кривої розрядки батареї з використанням АЦП	Лабораторна робота	[5]	2	кінець поточного тижня
11	Бездротова комунікація ч. 1. Wi-Fi: STA/AP режим, веб-сервер, передача даних	Лекція	[2], [3]	2	кінець поточного тижня
11	Лаб. 10. Створення простого HTTP-сервера на ESP32, динамічний вивід даних	Лабораторна робота	[5]	2	кінець поточного тижня
12	Бездротова комунікація ч. 2. BLE: принцип роботи, GATT, характеристики	Лекція	[1],[2], [3]	2	кінець поточного тижня
12	Лаб. 11. Створення GATT-сервера для комунікації із смартфоном	Лабораторна робота	[5]	2	кінець поточного тижня
13	Secure Element, шифрування Flash і апаратна безпека	Лекція	[2], [3]	2	кінець поточного тижня
13	Лаб. 12. Робота з шифруванням та підписуванням прошивок.	Лабораторна робота	[5]	2	кінець поточного тижня
14	OTA оновлення. Принципи, реалізація, перевірка оновлень.	Лекція	[3]	2	кінець поточного тижня
14	Лаб. 13. Реалізація оновлення прошивки через Wi-Fi	Лабораторна робота	[5]	2	кінець поточного тижня
15	Проєктування та відлагодження. Етапи, взаємодія між блоками, тестування.	Лекція	[1], [2]	2	кінець поточного тижня
15	Проміжне підсумкове заняття ЗМ 2.	Лабораторна робота	[5]	2	кінець поточного тижня
16	Підсумкова лекція. Приклади вбудованих рішень та їхнє обговорення	Лекція	https://www.digital-business-hub.com/future-of-rtos/	2	кінець поточного тижня
16	Заключне заняття	Лабораторна робота	Сайт курсу	2	кінець поточного тижня