



# Архітектура комп'ютерів 3. Мікропроцесорні СИСТЕМИ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти

*Перший (бакалаврський)*

Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>123 Комп'ютерна інженерія</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютерні системи та мережі</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/заочна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів /150 год. Денна форма: лекцій 36 год., лаб.робіт 18 год, СРС 96 год. Заочна форма: лекцій 8 год., лаб. робіт 8 год., СРС 134 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	<i>Згідно розкладу на весняний семестр поточного навчального року за адресою <a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектори: доцент, к.т.н. Ткаченко Валентина Василівна, пошта <a href="mailto:tkavalivas@gmail.com">tkavalivas@gmail.com</a> Uf; д.т.н., доцент, Клименко Ірина Анатоліївна, <a href="mailto:ikliryna@gmail.com">ikliryna@gmail.com</a> Лабораторні: Нікольський Сергій Сергійович <a href="mailto:serhiy.nikolskiy@gmail.com">serhiy.nikolskiy@gmail.com</a></i>
Розміщення курсу	<i>На платформі дистанційного навчання «Сікорський»: <a href="https://classroom.google.com/c/NDY4OTYwNDM1MTYw?cjc=biw7yng">https://classroom.google.com/c/NDY4OTYwNDM1MTYw?cjc=biw7yng</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Мета і основні завдання дисципліни - вивчення теоретичних основ, принципів і способів побудови мікропроцесорних систем (МПС) на базі мікроконтролерів, формування знань про архітектури та практичних навичок програмування сучасних мікроконтролерів.

Розглядаються питання проектування МПС, а саме аналізу алгоритмів рішення заданої задачі, розроблення системи команд та програмної моделі процесора, організації пам'яті і розроблення функціональних мікроалгоритмів виконання команд. Розглядаються питання реалізації обміну інформацією із зовнішніми пристроями (режим пріоритетного переривання, прямого доступу до пам'яті, програмний режим обміну).

Практичний досвід пов'язаний з програмуванням для сучасного 32 розрядного мікроконтролера STM32F4 на базі процесора ARM CORTEX-M4 на асемблері та мові програмування C з використанням програмних емуляторів процесора ARM Cortex M4; розроблення програмно-апаратного забезпечення на платі STM32F407VG Discovery з використанням середовищ програмування мікроконтролерів STM32 Cube MX, Keil MDK-ARM.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів

*навиків:*

- виконувати аналітичний огляд технічних рішень;
- розроблювати алгоритми функціонування складових МПС, організації процесів вводу та виводу, а також обміну інформацією між блоками МПС;
- розроблювати структурні, функціональні та принципіві схеми МПС з використанням мікроконтролерів;
- працювати з середовищами розробки програмного забезпечення для мікроконтролерів STM32 Cube MX, Keil MDK-ARM, STM32 ST-LINK Utility, симуляторами архітектури;
- програмувати для мікроконтролерів STM32;
- працювати с Hard Ware, зневаджувачами та прошивати плати.

*ЗНАТЬ:*

- актуальні проблеми теорії мікроконтролерів, MPU, МПС, основні терміни та визначення;
- тенденції життєвого циклу розроблення сучасної елементної бази, Fabless модель організації електронної промисловості, технологія системи на кристалі (SoC), програмування ПЛІС;
- засоби проектування МПС на сучасній елементній базі, в тому числі з використанням мікроконтролерів та ПЛІС,
- принципи побудови і функціонування мікропроцесорних систем МПС;
- способи обміну інформацією між компонентами МПС;
- способи організації процесів вводу и виводу інформації в МПС;
- способи організації багаторівневої пам'яті МПС;
- сучасний стан, тенденції та перспективи розвитку 32-розрядних мікроконтролерів для реалізації вбудованих систем та в інфраструктурі IoT;
- архітектуру і програмну модель процесора ARM CORTEX M4;
- інтерфейси для зв'язку з периферійними пристроями;
- принципи перетворення даних з використанням АЦП та ЦАП;
- інструменти для розроблення програм для STM32;
- методи дослідження систем, проведення порівняльного аналізу;
- методи пошуку оптимальних рішень;

*УМІТЬ:*

- користуватися сучасним математичним апаратом для розв'язання інженерних і наукових завдань, які виникають при розробці і дослідженні засобів комп'ютерної техніки;
- користуватися сучасним математичним апаратом для розв'язання інженерних і наукових завдань, зокрема, які виникають при розробці і дослідженні МПС;
- проводити розрахунки, необхідні при проектуванні і використанні МПС.
- користуватися мовами різного рівня для опису апаратних і програмних засобів;
- обирати тип мікроконтролера для розв'язування заданої прикладної задачі;
- програмувати STM32 з використанням сучасних засобів автоматизації;
- працювати з інструментарієм при розробленні програм для STM32;
- налагоджувати програми для STM32 з використанням інтерфейсу JTAG;
- вміти розробити та реалізувати вузли та компоненти МПС на сучасній програмовній елементній базі (ПЛІС).

Вивчення дисципліни забезпечує наступні загальні та фахові компетенції

- ЗК2. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями
- ФК1. Здатність застосовувати законодавчу та нормативно правову базу, а також державні та міжнародні вимоги, практики і стандарти з метою здійснення професійної діяльності в галузі комп'ютерної інженерії.

- ФК5. Здатність використовувати засоби і системи автоматизації проектування до розроблення компонентів комп'ютерних систем та мереж, Інтернет додатків, кіберфізичних систем тощо.
- ФК7. Здатність використовувати та впроваджувати нові технології, включаючи технології розумних, мобільних, зелених і безпечних обчислень, брати участь в модернізації та реконструкції комп'ютерних систем та мереж, різноманітних вбудованих і розподілених додатків, зокрема з метою підвищення їх ефективності.
- ФК13. Здатність вирішувати проблеми у галузі комп'ютерних та інформаційних технологій, визначати обмеження цих технологій.
- ФК14. Здатність проектувати системи та їхні компоненти з урахуванням усіх аспектів їх життєвого циклу та поставленої задачі, включаючи створення, налаштування, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію.
- ФК16. Здатність проектувати, впроваджувати та обслуговувати високопродуктивні паралельні та розподілені комп'ютерні системи та їх складові з використання ПЛІС модулів і систем автоматизованого проектування

У відповідності до вищезазначеного, студенти отримують наступні результати навчання:

- ПРН1. Знати і розуміти наукові положення, що лежать в основі функціонування комп'ютерних засобів, систем та мереж.
- ПРН3. Знати новітні технології в галузі комп'ютерної інженерії.
- ПРН4. Знати та розуміти вплив технічних рішень в суспільному, економічному, соціальному і екологічному контексті.
- ПРН5. Мати знання основ економіки та управління проектами
- ПРН7. Вміти розв'язувати задачі аналізу та синтезу засобів, характерних для спеціальності.
- ПРН10. Вміти розробляти програмне забезпечення для вбудованих і розподілених застосувань, мобільних і гібридних систем, розраховувати, експлуатувати, типове для спеціальності обладнання
- ПРН12. Вміти ефективно працювати як індивідуально, так і у складі команди.
- ПРН11. Вміти здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач комп'ютерної інженерії.
- ПРН13. Вміти ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу комп'ютерних систем та їх компонентів.
- ПРН14. Вміти поєднувати теорію і практику, а також приймати рішення та виробляти стратегію діяльності для вирішення завдань спеціальності з урахуванням загальнолюдських цінностей, суспільних, державних та виробничих інтересів.
- ПРН15. Вміти виконувати експериментальні дослідження за професійною тематикою.
- ПРН19. Здатність адаптуватись до нових ситуацій, обґрунтовувати, приймати та реалізовувати у межах компетенції рішення.
- ПРН22. Виконувати розрахунки параметрів окремих блоків комп'ютерів, комп'ютерних систем, комп'ютерних мереж
- ПРН24. Проводити зборку, налагодження та використання операційних систем типу Linux

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

При вивченні дисципліни Архітектура комп'ютерів. Частина 3. Мікропроцесорні засоби доцільно використовувати знання, отримані при вивченні попередніх дисциплін «Комп'ютерна логіка. Частина 1. Комп'ютерна логіка», «Комп'ютерна логіка. Частина 2. Комп'ютерна арифметика», «Комп'ютерна електроніка», «Архітектура комп'ютера 1. Арифметичні та управляючі пристрої», «Системне програмування», «Комп'ютерна схемотехніка»

Дисципліна є базовою для курсів: «Архітектура комп'ютерів. Курсова робота», «Системне програмне забезпечення», «Комп'ютерні системи»; курсів вибіркових дисциплін Ф-каталогу «Тестування та контроль якості (QA) вбудованих систем», «Технології програмування ПЛІС (FPGA)», «Технології проектування інтелектуальних систем».

### 3. Зміст навчальної дисципліни

#### Вступ

**Розділ 1. Вступ. Мета і задачі дисципліни. Класифікації та призначення мікропроцесорних систем (МПС). Загальні архітектурні та функціональні особливості.**

Тема 1.1. Основні поняття і визначення мікропроцесорної техніки. Класифікація МПС в залежності від області призначення. Класифікація мікропроцесорів.

Тема 1.3. Сучасні поняття та порівняльні особливості архітектури МПС, MPU, контролерів, мікроконтролерів, особливості використання та принципи функціонування.

Тема 1.4. Архітектура універсальних мікропроцесорів. Поняття асемблеру. Системи команд та способи адресації операндів. Особливості системи команд. Формати команд.

**Розділ 2. Практичні основи програмування для 32 розрядного мікроконтролера STM32F4 на базі процесора ARM CORTEX-M4.**

Тема 2.1. Огляд процесорів ARM. Особливості CISC та RISC архітектури, переваги та недоліки для реалізації процесорних ядер. Тенденції розвитку та лінійка сучасних ARM процесорів. Сучасні профілі архітектури ARM - процесори Cortex A, Cortex R, Cortex M. Використання та особливості ARM процесорів Cortex M.

Тема 2.2. Класифікація серій мікросхем STM32 за архітектурою та функціональними характеристиками. Порівняльний огляд архітектури й продуктивності. Знайомство з інформаційним простором виробників продуктів на базі STM 32, комплектами документації для розробники та програмування мікроконтролерів. Огляд інструментальних середовищ для розроблення та налагоджування.

Тема 2.3. Поняття система на кристалі (SoC). Огляд архітектури SoC ARM CORTEX-M4 CPU, засоби підвищення продуктивності, надійності та обробки переривань. Огляд архітектури мікроконтролера SoC STM32F4 та основних периферійних пристроїв. Огляд плати розробника STM32F407VG Discovery.

Тема 2.4. Режими роботи процесора Cortex M4, та рівні доступу програмного забезпечення. Організація стеку процесора.

Тема 2.5. Регістри процесора Cortex M4. Модель програміста. Інструкції доступу до спеціальних регістрів.

Тема 2.6. Поняття архітектури *load/store machines* – розділення інструкції звернення до пам'яті та обробки даних. Інструкції доступу до пам'яті в процесорі Cortex M4.

Тема 2.7. Адресний простір процесора Cortex-M.

Тема 2.7. Типи даних. Операції з регістрами в процесорі Cortex M4. Набір арифметичних та логічних інструкцій. Інструкції для виконання умовних переходів.

**Розділ 3. Розроблення програмно-апаратного забезпечення на платі STM32F407VG Discovery.**

Тема 3.1. Огляд інтерфейсів та периферійних пристроїв SoC STM32F4.

Тема 3.2. Перетворювачі сигналів ADC/АЦП, DAC/ЦАП.

Тема 3.3. Периферійні пристрої: Контроль живленням, POR, DMA, I<sup>2</sup>S, LCD, PWM, WDT.

Теми 3.4. Інтерфейси та шини: CANbus, DCMI, EBI/EMI, Ethernet, I<sup>2</sup>C, SPI, UART/USART, USB OTG.

Тема 3.5. Архітектура пам'яті. Модулі SRAM, FLASH пам'яті. Модуль керування пам'яттю MPU (Memory protection unit). Організація КЕШ пам'яті.

Тема 3.6. Робота портами введення/виведення й обробка переривань.

Тема 3.7. Підключення датчиків, дисплеїв, клавіатури.

Тема 3.8. Розроблення програмного забезпечення в інструментальному середовищі програмування мікроконтролерів STM32 Cube MX, Keil MDK-ARM.

**Розділ 4. Теоретичні основи проектування МПС на мікроконтролерах.**

Тема 4.1. Етапи проектування мікропроцесорних систем. Приклади проектування архітектури. Засоби та методи проектування та автономного налагодження апаратури мікропроцесорних систем.

Тема 4.3. Засоби керування та синхронізації. Формування затримок управляючих сигналів(малої та великої тривалості) на виходах портів при передачі на пристрої управління. Програмне формування часової затримки мікроконтролерів.

Тема 4.3. Взаємодія пристроїв процесора і пам'яті під час виконання команд. Підключення зовнішньої пам'яті програм та даних до мікроконтролеру.

Тема 4.4. Організація вводу-виводу інформації в МПС. Підключення додаткових портів.

Тема 4.5. Організація переривань в мікропроцесорних системах. Контролери переривань та прямого доступу мікропроцесорних комплектів. Різновиди контролерів переривань.

Тема 4.6. Тенденції розвитку архітектури МПС. Організація та особливості програмування мікроконтролерів INTEL, PIC, AVR Atmega. RISC мікропроцесори.

## **Розділ 5. Сучасні технології проектування та розроблення мікропроцесорних засобів на програмовних логічних інтегральних схемах (ПЛІС).**

Тема 5.1. Сучасні технології проектування та розроблення цифрових систем – технологія системи на кристалі (SoC). Основні аспекти використання програмовних логічних інтегральних схемах (ПЛІС) для розроблення цифрових систем.

Тема 5.2. Життєвий цикл процесу проектування та розроблення апаратурних засобів. Уніфікований потік проектування цифрових схем (Design Flow). Огляд сучасних САПР. Огляд мов опису апаратури.

Тема 5.3. Поняття функціонального моделювання та структурного синтезу цифрової схеми. Практичні аспекти циклу функціонального моделювання цифрових схем в сучасних САПР.

Тема 5.4. Огляд системи автоматизації проектування Mentor Graphics (Simens) ModelSim для функціонального моделювання мов опису апаратури. Основи програмування на мові опису апаратури Verilog.

Тема 5.5. Історичні аспекти та тенденції розвитку елементної бази. Тенденції розроблення сучасних цифрових систем в умовах 4-ї Індустріальної революції

## **4. Навчальні ресурси та матеріали**

### **4.1. Базова література**

1. Архітектура комп'ютерів. Мікропроцесорні системи. Частина 1. Програмування для процесора Cortex M4. Лабораторний практикум. Навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерна інженерія» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» / уклад.: І.А. Клименко, В.А. Таранюк, В.В. Ткаченко, Каплунов А.В. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 100 с. (Затверджено засіданням кафедри №10 від 25.05.2022)
2. Архітектура комп'ютерів. Мікропроцесорні системи». Частина 2. Програмування для мікроконтролерів STM32. Теорія та лабораторний практикум. Навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» / уклад.: І.А. Клименко, В.А. Таранюк, В.В. Ткаченко, Каплунов А.В. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 198 с. Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 1 від 02.09.2022 р.).
3. Програмування на ПЛІС. Навчально-методичний посібник : методичні вказівки для виконання лабораторних робіт для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» / уклад.: І.А. Клименко, В.В. Ткаченко, А.Р. Гайдай. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 80 с. (Затверджено засіданням кафедри №10 від 25.05.2022).
4. Жабін В.І., Жуков І.А.,Ткаченко В.В., Клименко І.А.. Мікропроцесорні системи. : Навчальний посібник.- К.: Видавництво «СПД ГуральникО.Ю.», 2009.- 492 с
5. Мельник А. Архітектура комп'ютера: Підручник. – Луцьк.: Волинська обласна друкарня, 2008. – 470 с.

#### 4.2. Додаткова література

1. Sergiyenko A.M. Computer Architecture (Архітектура комп'ютерів: підручник англійською мовою). - КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 395 с.
2. Sarah L. Harris, David Harris Digital Design and Computer Architecture / Elsevier Science & Technology, 2022. – 720 p.
3. Пухальський Г.І. Проектування мікропроцесорних систем. СП: Політехника, 2001.-544с
4. Hamacher C., Vranesic Z., Zaky S. COMPUTER ORGANIZATION: 5th edition. – 2022. [Електронний ресурс] Hamacher:ComputerOrganization (mhhe.com), Computer Organization By Carl Hamacher 5th Edition | lulabi.live.
5. Tanenbaum A.S. Structured Computer Organization: 6th Edition – 2013. - [Електронний ресурс]
6. Комп'ютерна схемотехніка. Лабораторний практикум : навчальний посібник для студентів освітньої програми «Комп'ютерні системи та мережі» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. А. Верба, В. І. Жабін, І. А. Клименко, В. В. Ткаченко. – Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 1 від 26.09.2019 р.). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 110 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/29747>
7. Архітектура комп'ютерів – 1. Арифметичні та управляючі пристрої. Практикум : навчальний посібник для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерні системи та мережі», спеціалізацій «Комп'ютерні системи та мережі» та «Технології програмування для комп'ютерних систем та мереж» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. І. Жабін, І. А. Клименко, В. В. Ткаченко. – Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол №3 від 15.11.2018р.). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 53 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/29525>
8. Жабін В.І., Клименко І.А., Стіренко С.Г. Арифметичні та управляючі пристрої цифрових ЕОМ: Навчальний посібник. – К.:БЕК +, 2008. –

#### 4.3. Інформаційні ресурси

1. Курс відеолекцій – <https://bbb.comsys.kpi.ua/b/iry-ped-qe9>
2. Дистанційні курси на платформі дистанційного навчання «Сікорський» в середовищі Google Workspace for Education: Архітектура комп'ютерів. Частина 2. Процесори. <https://classroom.google.com/c/NDY4OTYwNDM1MTYw?cjc=biw7yns>
3. [STM32 MCU & MPU Eval Tools - STMicroelectronics](#)
4. Discovery kit with STM32F407VG MCU. Стислий опис (Data brief): [STM32F4DISCOVERY - Discovery kit with STM32F407VG MCU \\* New order code STM32F407G-DISC1 \(replaces STM32F4DISCOVERY\) – STMicroelectronics](#)
5. Discovery kit with STM32F407VG MCU. UM1472 User manual: [Discovery kit with STM32F407VG MCU - User manual](#)
6. STM32F407VG Product overview. <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f407vg.html#overview>
7. Download Documentation: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f407vg.html#documentation>
  - STM32F407VG: Datasheet
  - STM32 Reference Manual (RM0090)
  - STM32 Cortex®-M4 Programming Manual (PM 0214):
8. [Arm Cortex-M4 - Microcontrollers - STMicroelectronics](#)

### Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компоненту)

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим

навчальним планом. На кредитний модуль виділено 150 годин/5 кредитів.

Для досягнення мети навчальної дисципліни слід зосередитись в лекційному матеріалі на особливостях побудови функціонального рівня комп'ютера, процесора та інших його компонентів. Особливу увагу необхідно приділити особливостям проектування комп'ютерів із застосуванням сучасної елементної бази.

Мета лабораторних робіт – придбання вмінь та навиків застосування на практиці принципів проектування мікропроцесорних систем та їх окремих функціональних вузлів. Лабораторні роботи пов'язані з програмуванням для сучасного 32 розрядного мікроконтролера STM32F4 на базі процесора ARM CORTEX-M4 на асемблері та мові програмування C з використанням програмних емуляторів процесора ARM Cortex M4; розробленням програмно-апаратного забезпечення на платі STM32F407VG Discovery з використанням середовищ програмування мікроконтролерів STM32 Cube MX, Keil MDK-ARM. Для створення власних проєктів для роботи з датчиками використовується плата GL Starter Kit STM32.

#### **Тематика лабораторних робіт:**

**Лабораторна робота 1.** Розвертання програмного оточення для виконання лабораторних робіт на емуляторі Qemu MCU STM32F407VG

**Лабораторна робота 2.** Вступ до розроблення та налагодження програм на асемблері для процесора архітектури CORTEX M4

**Лабораторна робота 3.** Вивчення архітектури та системи команд процесора CORTEX M4. Розроблення програм обробки даних.

**Лабораторна робота 4.** Вивчення архітектури пам'яті та режимів роботи процесора CORTEX M4. Розроблення власного завантажувальника.

**Лабораторна робота 5.** Розвертання програмного середовища STM32Cube IDE (Keil). Розроблення навчального проєкту в STM32Cube IDE для роботи з датчиками на платі STM32F4 Discovery

**Лабораторна робота 6.** Розроблення власного проєкту для роботи з датчиками на платі GL Starter Kit STM32. Прошивка плати платі GL Starter Kit STM32 та візуалізація результатів роботи пристрою.

#### **6. Самостійна робота здобувача вищої освіти денної форми навчання**

Види самостійної роботи для студентів денної форми навчання (96 годин):

- підготовка до аудиторних занять, виконання поточних домашніх завдань та опрацювання матеріалів лекцій (0,5 годин x 18 лекцій = 9 годин);
- виконання індивідуального завдання до лабораторних робіт, розв'язок задач, оформлення протоколу, підготовка та оброблення проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях, оформлення звіту до лабораторної роботи (1,5 годин x 6 лабораторних робіт = 9 годин);
- підготовка та виконання поточної контрольної роботи (4 години);
- підготовка до екзамену (30 годин);
- самостійне опрацювання теоретичних тем, розвертання програмного оточення та завантаження вихідних кодів програмного забезпечення для виконання лабораторних робіт (44 години).

#### **Теми на самостійне опрацювання (денна форма навчання)**

**Розділ 1. Вступ. Мета і задачі дисципліни. Класифікації та призначення мікропроцесорних систем (МПС). Загальні архітектурні та функціональні особливості.**

Тема 1.2. Сучасні поняття та порівняльні особливості архітектури МПС, MPU, контролерів, мікроконтролерів, особливості використання та принципи функціонування.

## **Розділ 2. Практичні основи програмування для 32 розрядного мікроконтролера STM32F4 на базі процесора ARM CORTEX-M4.**

Тема 2.2. Класифікація серій мікросхем STM32 за архітектурою та функціональними характеристиками. Порівняльний огляд архітектури й продуктивності. Знайомство з інформаційним простором виробників продуктів на базі STM 32, комплектами документації для розробники та програмування мікроконтролерів. Огляд інструментальних середовищ для розроблення та налагоджування.

Тема 2.7. Типи даних. Операції з регістрами в процесорі Cortex M4. Набір арифметичних та логічних інструкцій. Інструкції для виконання умовних переходів.

## **Розділ 3. Розроблення програмно-апаратного забезпечення на платі STM32F407VG Discovery.**

Тема 3.3. Периферійні пристрої: Контроль живленням, POR, DMA, I<sup>2</sup>S, LCD, PWM, WDT.

Теми 3.4. Інтерфейси та шини: CANbus, DCMI, EBI/EMI, Ethernet, I<sup>2</sup>C, SPI, UART/USART, USB OTG.

Тема 3.7. Підключення датчиків, дисплеїв, клавіатури.

Тема 3.8. Розроблення програмного забезпечення в інструментальному середовищі програмування мікроконтролерів STM32 Cube MX, Keil MDK-ARM.

## **Розділ 4. Теоретичні основи проектування МПС на мікроконтролерах.**

Тема 4.1. Етапи проектування мікропроцесорних систем. Приклади проектування архітектури. Засоби та методи проектування та автономного налагодження апаратури мікропроцесорних систем.

Тема 3.8. Тенденції розвитку архітектури МПС. Організація та особливості програмування мікроконтролерів INTEL, PIC, AVR Atmega. RISC мікропроцесори.

## **Розділ 5. Сучасні технології проектування та розроблення мікропроцесорних засобів на програмовних логічних інтегральних схемах (ПЛІС).**

Тема 5.1. Сучасні технології проектування та розроблення цифрових систем – технологія системи на кристалі (SoC). Основні аспекти використання програмовних логічних інтегральних схемах (ПЛІС) для розроблення цифрових систем.

Тема 5.5. Історичні аспекти та тенденції розвитку елементної бази. Тенденції розроблення сучасних цифрових систем в умовах 4-ї Індустріальної революції

## **7. Методика викладання дисципліни на заочній формі навчання.**

### **Лекція 1.**

#### **Розділ 1. Вступ. Мета і задачі дисципліни. Класифікації та призначення мікропроцесорних систем (МПС). Загальні архітектурні та функціональні особливості.**

Тема 1.1. Основні поняття і визначення мікропроцесорної техніки. Класифікація МПС в залежності від області призначення. Класифікація мікропроцесорів.

#### *Теми на самостійне опрацювання*

Тема 1.3. Сучасні поняття та порівняльні особливості архітектури МПС, MPU, контролерів, мікроконтролерів, особливості використання та принципи функціонування.

Тема 1.4. Архітектура універсальних мікропроцесорів. Поняття асемблеру. Системи команд та способи адресації операндів. Особливості системи команд. Формати команд.

#### **Розділ 2. Практичні основи програмування для 32 розрядного мікроконтролера STM32F4 на базі процесора ARM CORTEX-M4.**

Тема 2.1. Поняття система на кристалі (SoC). Огляд архітектури SoC ARM CORTEX-M4 CPU, засоби підвищення продуктивності, надійності та обробки переривань. Огляд архітектури



мікроконтролера SoC STM32F4 та основних периферійних пристроїв. Огляд плати розробника STM32F407VG Discovery.

Тема 2.2. Режими роботи процесора Cortex M4, та рівні доступу програмного забезпечення. Організація стеку процесора.

Тема 2.3. Регістри процесора Cortex M4. Модель програміста. Інструкції доступу до спеціальних регістрів.

Тема 2.4. Поняття архітектури *load/store machines* – розділення інструкції звернення до пам'яті та обробки даних. Інструкції доступу до пам'яті в процесорі Cortex M4.

#### *Теми на самостійне опрацювання*

Тема 2.5. Огляд процесорів ARM. Особливості CISC та RISC архітектури, переваги та недоліки для реалізації процесорних ядер. Тенденції розвитку та лінійка сучасних ARM процесорів. Сучасні профілі архітектури ARM - процесори Cortex A, Cortex R, Cortex M. Використання та особливості ARM процесорів Cortex M.

Тема 2.6. Класифікація серій мікросхем STM32 за архітектурою та функціональними характеристиками. Порівняльний огляд архітектури й продуктивності. Знайомство з інформаційним простором виробників продуктів на базі STM 32, комплектами документації для розробники та програмування мікроконтролерів. Огляд інструментальних середовищ для розроблення та налагоджування.

Тема 2.7. Типи даних. Операції з регістрами в процесорі Cortex M4. Набір арифметичних та логічних інструкцій. Інструкції для виконання умовних переходів.

Тема 2.8. Адресний простір процесора Cortex-M.

## **Лекція 2.**

### **Розділ 3. Розроблення програмно-апаратного забезпечення на платі STM32F407VG Discovery.**

Тема 3.1. Огляд інтерфейсів та периферійних пристроїв SoC STM32F4.

Тема 3.2. Перетворювачі сигналів ADC/АЦП, DAC/ЦАП.

Тема 3.3. Периферійні пристрої: Контроль живленням, POR, DMA, I<sup>2</sup>S, LCD, PWM, WDT.

Теми 3.4. Інтерфейси та шини: CANbus, DCMI, EBI/EMI, Ethernet, I<sup>2</sup>C, SPI, UART/USART, USB OTG.

Тема 3.5. Архітектура пам'яті. Модулі SRAM, FLASH пам'яті. Модуль керування пам'яттю MPU (Memory protection unit). Організація КЕШ пам'яті.

Тема 3.6. Робота портами введення/виведення й обробка переривань.

Тема 3.7. Підключення датчиків, дисплеїв, клавіатури.

Тема 3.8. Розроблення програмного забезпечення в інструментальному середовищі програмування мікроконтролерів STM32 Cube MX, Keil MDK-ARM.

## **Лекція 3.**

### **Розділ 4. Теоретичні основи проектування МПС на мікроконтролерах.**

Тема 4.1. Взаємодія пристроїв процесора і пам'яті під час виконання команд. Підключення зовнішньої пам'яті програм та даних до мікроконтролеру.

Тема 4.2. Організація вводу-виводу інформації в МПС. Підключення додаткових портів.

Тема 4.3. Організація переривань в мікропроцесорних системах. Контролери переривань та прямого доступу мікропроцесорних комплектів. Різновиди контролерів переривань.

#### *Теми на самостійне опрацювання*

Тема 4.4. Етапи проектування мікропроцесорних систем. Приклади проектування архітектури. Засоби та методи проектування та автономного налагодження апаратури мікропроцесорних систем.

Тема 4.5. Засоби керування та синхронізації. Формування затримок управляючих сигналів(малої та великої тривалості) на виходах портів при передачі на пристрої управління. Програмне формування часової затримки мікроконтролерів.

Тема 4.6. Тенденції розвитку архітектури МПС. Організація та особливості програмування мікроконтролерів INTEL, PIC, AVR Atmega. RISC мікропроцесори.

#### Лекція 4

### Розділ 5. Сучасні технології проектування та розроблення мікропроцесорних засобів на програмовних логічних інтегральних схемах (ПЛІС).

Тема 5.1. Життєвий цикл процесу проектування та розроблення апаратурних засобів. Уніфікований потік проектування цифрових схем (Design Flow). Огляд сучасних САПР. Огляд мов опису апаратури.

Тема 5.2. Поняття функціонального моделювання та структурного синтезу цифрової схеми. Практичні аспекти циклу функціонального моделювання цифрових схем в сучасних САПР.

Тема 5.3. Огляд системи автоматизації проектування Mentor Graphics (Simens) ModelSim для функціонального моделювання мов опису апаратури. Основи програмування на мові опису апаратури Verilog.

#### *Теми на самостійне опрацювання*

Тема 5.4. Сучасні технології проектування та розроблення цифрових систем – технологія системи на кристалі (SoC). Основні аспекти використання програмовних логічних інтегральних схемах (ПЛІС) для розроблення цифрових систем.

Тема 5.5. Історичні аспекти та тенденції розвитку елементної бази. Тенденції розроблення сучасних цифрових систем в умовах 4-ї Індустріальної революції

#### **Тематика лабораторних робіт:**

##### *Лабораторні роботи для самостійного виконання*

**Лабораторна робота 1.** Розвертання програмного оточення для виконання лабораторних робіт на емуляторі Qemu MCU STM32F407VG

**Лабораторна робота 2.** Вступ до розроблення та налагодження програм на асемблері для процесора архітектури CORTEX M4

##### *Лабораторні роботи для аудиторного виконання*

**Лабораторна робота 3.** Вивчення архітектури та системи команд процесора CORTEX M4. Розроблення програм обробки даних.

**Лабораторна робота 4.** Вивчення архітектури пам'яті та режимів роботи процесора CORTEX M4. Розроблення власного завантажувальника.

**Лабораторна робота 5.** Розвертання програмного середовища STM32Cube IDE (Keil). Розроблення навчального проєкту в STM32Cube IDE для роботи з датчиками на платі STM32F4 Discovery

**Лабораторна робота 6.** Розроблення власного проєкту для роботи з датчиками на платі GL Starter Kit STM32. Прошивка плати платі GL Starter Kit STM32 та візуалізація результатів роботи пристрою.

Види самостійної роботи для студентів заочної форми навчання (134 годин):

- підготовка до аудиторних занять, виконання поточних домашніх завдань та опрацювання матеріалів лекцій (1,5 годин x 4 лекції = 6 годин);
- виконання індивідуального завдання до лабораторних робіт, розв'язок задач, оформлення протоколу, підготовка та оброблення проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях, оформлення звіту до лабораторної роботи (1,5 годин x 6 лабораторних робіт = 9 годин);
- підготовка та виконання поточної контрольної роботи (4 години);
- підготовка до екзамену (30 годин);

- самостійне опрацювання теоретичного матеріалу та виконання лабораторних робіт, розвертання програмного оточення та завантаження вихідних кодів програмного забезпечення для виконання лабораторних робіт (44 години). (85 годин).

## Політика та контроль

### 8. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Для виконання лабораторних робіт та поточної контрольної роботи встановлюються дедлайни. Виконання лабораторних робіт поза встановлених термінів супроводжуються штрафними балами, які вираховуються із оцінки за протокол. Поточна КР не приймається поза встановлені терміни.

Поточна контрольна робота виконується самостійно за індивідуальним завданням.

Виконанню кожної лабораторної роботи передуює виконання індивідуального завдання і оформлення його у вигляді протоколу. Студент, який прийшов на заняття без оформленого протоколу до лабораторної роботи не допускається. Першим етапом студент захищає результати отримані під час виконання індивідуального завдання до лабораторної роботи, на другому етапі – захищає теорію шляхом усного опитування або тестування. Більшість лабораторних робіт супроводжуються тестами для оцінки вивченого теоретичного та практичного матеріалу до лабораторної роботи. Бали отримані за виконання лабораторної роботи, за тест та за протокол входять в оцінку за лабораторну роботу. Тестування проводиться на лабораторному занятті після перевірки результатів виконання лабораторних робіт. Студент, який не виконав індивідуальне завдання до лабораторної роботи й до тесту не допускається.

Окремі теми лекційних занять супроводжуються короткими експрес-тестами (на 15 хвилин), які включають матеріал вивченої теми та питання, які задані на самостійне вивчення. Бали отримані за тест входять в семестрову рейтингову оцінку. Поточні тести не перескладаються.

Поточна контрольна робота (КР) пишеться на лекційному занятті без застосування допоміжних засобів (мобільні телефони, планшети та ін.); результат пересилається до відповідної директорії Google -диску через Google форму.

Поточна контрольна робота не переписується за умови негативної оцінки, негативна оцінка за контрольну роботу (менше ніж 9 балів (<60%)) прирівнюється до 0 балів, в цьому випадку не зараховується.

Виконання лабораторних робіт є обов'язковими для допуску до семестрового екзамену. Умовою допуску до екзамену є зарахування всіх лабораторних робіт та стартовий рейтинг не менше 30 балів.

Бали за екзаменаційну роботу додаються до балів за лабораторні роботи та КР і складають семестрову рейтингову оцінку.

Заохочувальні бали виставляються за: активну участь на лекціях; виконання поточних домашніх завдань, ведення конспекту, підготовка повідомлення з презентацією по одній із тем СРС дисципліни тощо. Кількість заохочуваних балів не більше 6.

Штрафні бали можуть запроваджуватись за невчасну здачу лабораторних робіт. Кількість штрафних балів не більше 10. В період військового стану в країні штрафні бали не запроваджуються.

### 9. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Семестровий рейтинг студента з дисципліни розраховується, виходячи із 100-бальної шкали. Семестровий рейтинг складається із стартової (поточної) оцінки  $R_S$  та екзаменаційної  $R_E$ . Стартовий рейтинг складається з балів, що студент отримує за виконання 6 лабораторних робіт  $R_L$ , поточної контрольної роботи  $R_{ПКР}$  та балів за експрес-тести й заохочувальні бали.

Максимальна кількість балів за лабораторні роботи складає 40 балів, тобто  $R_L = 40$ .

Критерії оцінювання лабораторних робіт наступні:

- своєчасність підготовки протоколу до лабораторного заняття, повнота виконання теоретичного або практичного завдання в протоколі, протокол вчасно викладений на GitLab: 0 – 2 бали (із оцінки за протокол можуть бути вирахувані штрафні бали за несвоєчасну здачу лабораторної роботи від 0 – 2 балів);
- коректність функціонування розроблених моделей на програмному або апаратному забезпеченні, демонстрація власного репозиторію на GitLab з матеріалами лабораторної роботи та наявність комітів: 0 – 2 бали;
- опитування/тестування за тематикою лабораторної роботи для зарахування практичної частини роботи, захист одержаних в роботі результатів, відповіді на додаткові теоретичні запитання викладача, повнота оформлення звіту/протоколу по роботі на GitLab: 0 – 3(4) бали.

Максимальна кількість балів за поточну КР:  $R_{ПКР} = 15$  балів.

Критерії оцінювання поточної КР за чотирма рівнями:

- правильна та змістовна відповідь з поясненнями в термінах предметної області : 13 – 15 балів;
  - правильна відповідь, неповні пояснення: 11 – 12 балів;
  - відповідь містить помилки: 9 – 10 балів;
  - відповідь містить суттєві помилки, немає пояснень: 4 – 8 балів;
  - немає відповіді: 0 балів.
- Оцінка за поточну КР знижується за:
- некоректне оформлення схем та креслень, відсутність розрядності регістрів, шин, не дотримання ГОСТів;
  - відсутність коментарів в програмному кодї та оформленні алгоритмів;
  - відсутність коментарів та пояснень під час розрахунків.

Деталізація балів за поточні роботи за семестр наведені в наступній таблиці

Назва заняття	Форма контролю	Кількість балів	Мінімальна кількість балів для зарахування	Всього балів
Лабораторна робота 1	Протокол на GitLab	2	5	7
	Виконання завдання	2		
	Опитування/тест (Linux introduction, Git)	3		
Лабораторна робота 2	Протокол на GitLab	2	4	7
	Виконання завдання	2		
	Опитування/тест	3		
Лабораторна робота 3	Протокол на GitLab	2	4	7
	Виконання завдання	2		
	Опитування/тест	3		
Лабораторна робота 4	Протокол на GitLab	2	4	7
	Виконання завдання	2		
	Опитування/тест	3		
Лабораторна робота 5	Виконання завдання	2	2	4
	Протокол на GitLab	2		
Лабораторна робота 6	Виконання завдання	2	5	8
	Протокол на GitLab	2		
	Опитування/тест по	4		

	лабораторним роботам 5 - 6			
Поточна контрольна робота		15	9	15
Експрес-тести		5		5
<b>Всього балів</b>		60	30	60

Максимальна кількість балів за екзамен дорівнює  **$R_E = 40$  балів**.

Екзаменаційний білет містить 4 завдання (одне теоретичне і три практичних) за тематикою лекцій та лабораторних робіт, що виконувались в семестрі. Кожне запитання оцінюється від 0 до 10 балів.

Критерії оцінювання кожного запитання за чотирма рівнями:

- правильна та змістовна відповідь: 9– 10 балів,
- правильна відповідь, неповні пояснення: 7 – 8 балів,
- відповідь містить помилки: 5 – 6 балів,
- немає відповіді або відповідь невірна: 0 балів.

Календарна атестація студентів (на 8 та 14 тижнях семестрів) з дисципліни проводиться за значенням поточного рейтингу студента на час атестації. Якщо значення цього рейтингу не менше 50 % від максимально можливого на час атестації, студент вважається атестованим. В іншому випадку в атестаційній відомості виставляється «неатестовано».

Необхідною умовою допуску до екзамену студента є виконання і захист всіх лабораторних робіт з сумою балів не менше ніж 30 балів.

Кількість балів, що отримує студент за семестр визначається формулою

$$R = (R_L + R_{ПКР}) + R_E = R_S + R_E$$

Максимальна кількість балів за семестр не перевищує  $R = 100$ .

З урахуванням одержаної суми балів кінцева оцінка визначається наступною таблицею:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено**, д.т.н, доцент, професор кафедри ОТ Клименко Ірина Анатоліївна,  
к.т.н., доцент, доцент кафедри ОТ Ткаченко Валентина Василівна.

**Ухвалено** кафедрою обчислювальної техніки (протокол № 13 від 10.05.2023р.).

**Погоджено** методичною комісією ФІОТ (протокол № 11 від 30.06.2023 р.).