



Мікропроцесорні технології і компоненти радіоелектронної апаратури

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність	172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітня програма	Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем
Статус дисципліни	Нормативна з циклу професійної підготовки
Форма навчання	очна(денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, весняний семестр, 4 курс осінній семестр
Обсяг дисципліни	180 годин (6 кредитів ECTS) з них: 6 семестр: 36 – лекції, 36 – лабораторні, 90 – самостійна робота студента (СРС); 7 семестр: 18 – практичні, – 45 Курсовий проект .
Семестровий контроль/ контрольні заходи	6 семестр: Іспит /МКР – 7 семестр: залік /КП
Розклад занять	http://roz.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н, доц, Корнєв Володимир Павлович, v.kornev@kpi.ua Лабораторні роботи: старший викладач Бондаренко Наталія Олександрівна, nalbondarenko@gmail.com
Розміщення курсу	https://bit.ly/3Q3wfxP https://classroom.google.com/c/NzQ4MjU4MjcyMzg5?cjc=5y7fng7

Програма навчальної дисципліни

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

Чому майбутньому фахівцю варто вчити саме цю дисципліну? ARM-процесори та мікроконтролери (МК) на їх основі, зокрема і МК STM32, що є основним предметом вивчення цієї дисципліни, становлять більшу частку сучасних 32-розрядних RISC-процесорів, вбудованих у різноманітну радіоелектронну апаратуру (РЕА), а це – мільярди мобільних телефонів та смартфонів, що продаються щороку, цифрові телевізори і приставки, різноманітні пристрої побутового, промислового та військового призначення. Отримані при вивченні дисципліни знання з архітектури і організації МК STM32, а також здобуті «з нуля» (from Scratch) вміння і навички створювати і налагоджувати програми для цих МК на самому низькому рівні (майже без всякої підтримки операційних систем та бібліотек високого рівня) – на «голому залізі» (on the Bare Metal ASSEMBLER and C/C+), утворюють міцну теоретичну і практичну базу для опанування студентами матеріалу навчальних дисциплін з подальшої бакалаврської та магістерської підготовки за освітньою програмою «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем» (включаючи курсове і дипломне проектування), та створюють надійну базу для вашої майбутньої професійної кар'єри у одному з найбільш затребуваних секторів ринку праці.

Предмет навчальної дисципліни архітектура і основи програмування мікроконтролерів STM32 та методи і технології створення драйверів для їх різноманітних периферійних пристроїв.

Мета навчальної дисципліни сформувати у студента здатності:

- Обґрунтовано обирати необхідні моделі і типи мікроконтролерів з архітектурою ARM Cortex-M (зокрема з сімейств МК STM32), при проектуванні PEA та мікропроцесорних систем (МПС) у складі сучасних інформаційно-обчислювальних засобів (ІОЗ) радіоелектронних систем (РС);
- Користуватися фірмовою документацією на МК та програмні і апаратні інструменти (the hardware and software development tools) для професійної розробки PEA і МПС;
- Розробляти програмне забезпечення PEA на основі STM32 або інших МК архітектури ARM із застосуванням сучасних інструментальних засобів (SDK Keil™ μVision5, STM32 CubeMx, IDE Cube, mbedOS та інше).

Після вивчення дисципліни студент має

знати:

- основні архітектурні риси та властивості сучасних одно-кристальних RISC мікроконтролерів (МК) на базі ядра ARM Cortex-M3/M4, а саме
класифікацію ARM архітектур і сімейств ARM процесорів;
особливості і порівняльну характеристику наборів команд ARM, Thumb та Thumb2;
класифікацію мікроконтролерів компанії STMicroelectronics;
структуру і основні функціональні характеристики МК STM32;
карту пам'яті процесорів Cortex-M4 і МК STM32;
регістрову модель процесорів Cortex-M4 і МК STM32;
основні системні компоненти процесорів Cortex-M4 і МК STM32 (ядро Cortex-M4, систему шин АНВ/APB/PPB, NVIC та інше);
- систему команд Cortex-M4;
- структуру, режими роботи і основи програмування системного таймера SYSTICK;
- організацію системи переривань Cortex-M4 і МК STM32;
- структуру, режими роботи і основи програмування контролера вкладених векторних переривань NVIC;
- основи програмування процесорів Cortex-M4 і МК STM32 на мові Assembler, C/C+;
- програмну структуру, режими роботи і основи програмування периферії (портів GPIO) і інтерфейсів SPI, I2C, UART, USB;
- принципи і засоби проектування електронної апаратури на основі МК STM32;
- інструментальні засоби проектування програмного забезпечення PEA на основі МК;
- засоби прототипування PEA на основі МК сімейства STM32 (Evaluation Boards, Starter Kits).

уміти:

- самостійно обґрунтовувати вибір раціональних варіантів побудови PEA на основі МК STM32;
- проектувати структуру і принципові схеми PEA на основі МК STM32;
- створювати драйвери периферійних пристроїв (GPIO, ADC, DAC, I2C, SPI, UART, PWM, TIMERS) як прямим зверненням до ресурсів МК (Bare Metal ASSEMBLER and C/C+Programming Ground Up - на «голому залізі»), так і з застосуванням низькорівневих API (Application Programming Interface) – CMSIS, LL (Low-Layer APIs) та високорівневих API-інтерфейсів рівня апаратної абстракції HAL APIs (Hardware Abstraction Layer);
- проектувати апаратне і програмне забезпечення PEA та МПС на основі STM32 з використанням сучасних інструментальних засобів (Hardware and Software Tools) у вигляді оцінювальних модулів (Evaluation Board/Development Board) за підтримки інтегрованих середовищ проектування IDE Keil™ μVision5 та набору інструментів STM32 Toolset (STM32CubeMX та STM32CubeIDE).

Все це врешті посприяє сформуванню у майбутнього фахівця

Загальні компетентності

- ЗК 1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу
- ЗК 2 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях
- ЗК 3 Здатність планувати та управляти часом
- ЗК 7 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями
- ЗК 8 Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми

Фахові компетентності

- ФК 1: Здатність розуміти сутність і значення інформації в розвитку сучасного інформаційного суспільства;

ФК 2 Здатність вирішувати стандартні завдання професійної діяльності на основі інформаційної та бібліографічної культури із застосуванням інформаційно-комунікаційних технологій і з урахуванням основних вимог інформаційної безпеки.

ФК 4: Здатність здійснювати комп'ютерне моделювання пристроїв, систем і процесів з використанням універсальних пакетів прикладних програм.

ФК 16 Здатність ... проектувати та налагоджувати програмні компоненти електронних обчислювальних систем (ЕОС), зокрема, вбудованих у радіотехнічну та телекомунікаційну апаратуру із застосуванням сучасних інструментальних засобів та САПР.

ФК 20:Здатність виконувати завдання побудови нових апаратно-програмних комплексів ЕОС відповідно до технічних умов із застосуванням сучасних апаратних і програмних платформ, у тому числі засобів цифрової обробки сигналів.

Програмні результати навчання

ПРН 2: Уміння застосовувати результати особистого пошуку та аналізу інформації для розв'язання якісних і кількісних задач подібного характеру в інформаційно-комунікаційних мережах, телекомунікаційних і радіотехнічних системах;

ПРН 7: Уміння описувати принципи та процедури, що використовуються в телекомунікаційних системах, інформаційно-телекомунікаційних мережах та радіотехніці;

ПРН 12: Уміння застосовувати основні положення фундаментальних і прикладних наук для аналізу та розробки процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах;

ПРН17 Уміння знаходити, оцінювати і використовувати інформацію з різних джерел, необхідну для розв'язання професійних завдань, включаючи відтворення інформації через електронний пошук;

ПРН 23 Здатність ... проектувати апаратне та програмне забезпечення ЕОС із застосуванням сучасних інтегрованих середовищ проектування та інструментальних засобів.

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

Пререквізити. Дисципліна вивчається у шостому навчальному семестрі, передбачає наявність у студентів попередніх знань з математики, елементів електроніки і основ схемотехніки цифрових пристроїв із застосуванням методів формально-логічного проектування, основ та прийомів алгоритмізації та програмування ЕОМ, основ мікропроцесорів. Тому тематика дисципліни є узгодженою з іншими дисциплінами учбового плану, зокрема: «Інформатика», «Схемотехніка», «Електронна компонентна база радіотехнічних та телекомунікаційних систем», «Функціонально-логічне проектування», «Основи мікропроцесорної техніки».

Для поглиблення знань і поширення можливостей застосування сучасних технологій та інструментальних засобів проектування програмного забезпечення РЕА і МПС на основі вбудованих МК STM32 паралельно з цією дисципліною доцільно вивчати вибірково дисципліну «Перспективні технології проектування мікропроцесорних вузлів радіоелектронної апаратури».

Постреквізити Знання, отримані при вивченні цієї дисципліни, є базою для вивчення дисциплін: «Проектування вбудованих систем», а також, при розробці курсового проекту з дисципліни «Мікропроцесорні технології і компоненти радіоелектронної апаратури» та при дипломному проектуванні зі спеціальності 172 «Телекомунікація та радіотехніка» за освітньою програмою «Інформаційно-обчислювальні засоби радіоелектронних систем».

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Архітектура процесорів Cortex–M4 і мікроконтролерів STM32F4xx

Тема 1. Еволюція архітектури і процесорів ARM

Тема 2. Структура і основні характеристики процесора Cortex-M4

Тема 3. Сімейства мікроконтролерів STM32

Тема 4. Регістри MPU Cortex-M4

Тема 5. Режими роботи MPU Cortex – M4

Тема 6. Організація пам'яті процесорів Cortex-M4 і МК STM32F4

Тема 7. Простір пам'яті з побітовим доступом. Bit-band operations

Тема 8. Переривання і винятки у Cortex-M. Таблиця векторів ARM Cortex-M4

Розділ 2. Основи програмування мікроконтролерів STM32F4xx

Тема 9. Засоби розробки електронної апаратури на основі МК STM32

Тема 10. Структура програмного модуля для МК STM32 на Асемблері і С

Тема 11. Основи мови асемблера.

Тема 12. Система команд MPU Cortex-M4. Набори інструкцій ARM, Thumb і Thumb2

Тема 13. Порти вводу/виводу загального призначення GPIO. Схемотехніка і програмування.

Тема 14. CMSIS – стандарт, API-інтерфейс та бібліотека CMSIS-функцій

Тема 15. Структура і функції системи тактування SYSCLK.

Тема 16. Організація зовнішніх переривань в МК STM32Fxx

Тема 17. Таймери у складі МК STM32F4xx. Програмування таймерів, формування сигналів ШІМ

Тема 18. Програмування вбудованих інтерфейсів (ADC/DAC, SPI, I2C /UART та інше)

Розділ 3. Інструментальні засоби створення програмного забезпечення МК STM32

Тема 19. Інтегроване середовище розробки програм IDE Keil™ μVision5

Тема 20. Набір інструментів STM32 Toolset (STM32CubeMX та STM32CubeIDE).

Тема 21. Зовнішні бібліотеки і утиліти

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Yiu J. **The Definitive Guide to ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors** / Joseph Yiu – [3rd ed.]. – Burlington, MA, USA: Newnes/Elsevier, 2013. – 864 c
2. Dr. Yifeng Zhu. **Embedded Systems with ARM Cortex-M Microcontrollers in Assembly Language and C: Fourth Edition**. ISBN-13: 978-0982692677, **Publisher:** E-Man Press LLC; 4th edition (January 2023) <http://web.eece.maine.edu/~zhu/book/index.php> (дата звернення 4.02.2024).
3. **ARMv7-M Architecture Reference Manual**. ARM Limited. DDI0403E_B.e (ID120114).2014. URL: <https://developer.arm.com/documentation/ddi0403/latest/> (дата звернення 4.02.2024).
4. **Cortex-M4 Devices. Generic User Guide**. ARM Limited ARM DUI 0553B (ID012616). 2011 URL: <https://developer.arm.com/documentation/dui0553/b/> (дата звернення 4.02.2024).
5. **Reference manual** - STM32F405/415, STM32F407/ 417, STM32F427/437 and STM32F429/439 advanced Arm-based 32-bit MCUs (RM0090 rev.19) *STMicroelectronics*. 2021. https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/3d/6d/5a/66/b4/99/40/d4/DM00031020.pdf/files/DM00031020.pdf/jcr:content/translations/en.DM00031020.pdf (дата звернення 4.02.2024).
6. **Programming manual** - STM32F3xx/F4xxx Cortex-M4 with FPU (PM0214 Rev 10) *STMicroelectronics*. 2020. https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/programming_manual/6c/3a/cb/e7/e4/ea/44/9b/DM00046982.pdf/files/DM00046982.pdf/jcr:content/translations/en.DM00046982.pdf (дата звернення 4.02.2024).

Додаткова література і ресурси

7. **Мікропроцесорні технології і компоненти радіоелектронної апаратури**. Дистанційний курс на платформі дистанційного навчання "Сікорський". /КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022; уклад.: Корнев В.П, Бондаренко Н.О. URL: <https://classroom.google.com/c/Mjc4MjAyMzgXNzYw?cjc=427hamv>
8. **Мікроконтролери на основі процесорів ARM Cortex-m4**. Лекції до курсу «Мікропроцесорні технології і компоненти радіоелектронної апаратури» /Volodymyr Korniev -Канал YouTubeUA Список відтворення (30 відео).

URL: https://www.youtube.com/playlist?list=PL36mSCczhyh29mLwDloGPi2TfTms_T7dZ (дата звернення 4.02.2024).

9. **STM32 TUTORIALS. Embedded Lab** Embedded Systems tutorials, projects, and more ...

URL: <http://embedded-lab.com/blog/stm32-tutorials/>

10. **AMBA Specification:** Режим доступа: www.arm.com/products/solutions/AMBA_Spec.html

11. **AAPCS Procedure Call Standard for the ARM Architecture.**

URL: <http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.ih0042c/index.html>

Змістовно дисципліна базується на матеріалі книг Джозефа Ю. (Joseph Yiu) [1] і Yifeng Zhu [2] та матеріалах його навчального курсу в Electrical and Computer Engineering University of Maine <http://web.eece.maine.edu/~zhu/book/lecture.php>, <http://web.eece.maine.edu/~zhu/book/tutorials.php>. Електронний варіант книг Джозефа Ю. і Yifeng Zhu [1,2,7] розміщено на Google Disk викладача: <https://bit.ly/3ltzMzC>

Електронні Power Point презентації лекцій, інструкції з лабораторних робіт, завдання РГР та інші матеріали до курсу надано на Google Disk викладача: <https://bit.ly/3f070Ct>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

5.1. Лекції

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)
Розділ 1. Архітектура процесорів Cortex–M4 і мікроконтролерів STM32F4xx	
1	<i>Лекція 1. Процесори компанії ARM і мікроконтролери на їх основі</i> Тема 1. Еволюція архітектури і процесорів ARM <i>Характеристика ринку мікроконтролерів. ARM - компанія, архітектура і процесори. Технологія Intellectual Property (IP). Типова структура MCU на ARM процесорі. Еволюція набору команд Instruction Set Architecture (ISA). Підродини (профілі) ARM архітектури. Типова структура MCU на ARM процесорі.</i> Дидактичні засоби, які забезпечують наочність лекції – демонстрація Power Point презентацій, Інтернет-ілюстрації. Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою.
2	<i>Лекція 2. Знайомство з лабораторним забезпеченням курсу</i> Тема 9. Засоби розробки електронної апаратури на основі МК STM32 <i>Огляд апаратних (Hardware Tools) і програмних (Software Tools) засобів розробки ЕА. Оціночні плати (Evaluations Boards) серії Discovery і NUCLEO. Embedded Starter Kit Global Logic, Expansion boards shields (плати розширення). Процедури створення, завантаження програми в MCU і її налагодження.</i> <i>Встановлення і налагодження IDE Keil μVision5. Шаблон проекту.</i> Дидактичні засоби, які забезпечують наочність лекції –Power Point презентація. Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та виконати індивідуальне завдання до лабораторної роботи №1.

3	Лекція 3. Основи архітектури процесорів Cortex-M4 Тема 2. Структура і основні характеристики процесора Cortex-M4 <i>Ядро (Processor core), конвеєр (pipeline), контролер переривань (Nested Vectored Interrupt Controller – NVIC) і Wakeup Interrupt Controller (WIC), блок керування пам'яттю (Memory Protection Unit – MPU. Структура MCU Cortex-M4. Внутрішня система шин (AHB/APB/PPB) і матриця шин (Bus Matrix). 3-ступенчастий конвеєр. Особливості системи команд: «множення з накопиченням», «арифметика з насиченням», SIMD (single instruction multiple data).</i> Дидактичні засоби, які забезпечують наочність лекції –Power Point презентація, Завдання на СРС — Вивчити теоретичний матеріал та поглибити знання за темою
4	Лекція 4. Мікроконтролери серії STM32F4xx Тема 3. Сімейства мікроконтролерів Тема 4. Регістри MPU Cortex-M4 <i>Серії STM32 F4 - склад і характеристики. Карта пам'яті (Memory Map) Cortex-M і STM32. Регістрова модель Cortex M4/STM32F4xx. Структура простої програми для STM32. Схема формування сигналу початкового запуску (NRST) і перезавантаження RESET STM32. Завантаження і запуск програми (Booting Process).</i> Дидактичні засоби, які забезпечують наочність лекції – презентації Power Point. Завдання на СРС — вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою Вивчити теоретичний матеріал та виконати індивідуальне завдання до лабораторної роботи №2.
5	Лекція 5. Система команд. Директиви асемблера Тема 12. Система команд MPU Cortex-M4. Набори інструкцій ARM, Thumb і Thumb2 <i>ISA - Instruction Set Architecture. Особливості ISA ARM. Основи мови асемблера. Загальний формат інструкції і директиви асемблера. Уніфікована мова асемблера (Unified Assembler Language – UAL). Формати команд Thumb і Thumb2. Flexible Operand 2 (Inline Barrel shifter) Директиви асемблера (Класифікація команд).</i> Дидактичні засоби, які забезпечують наочність лекції – демонстрація Power Point презентацій. Дослідження директив у Keil μVision5. Завдання на СРС — вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою
6	Лекція 6–7. Команди обробки даних. Арифметичні та логічні операції Тема 12. Система команд MPU Cortex-M4. Набори інструкцій ARM, Thumb і Thumb2 <i>Команди додавання і віднімання (ADD, ADC, SUB, SBB, RSB), Множення і ділення (MUL, UMULL, SDIV, UDIV), Операції з насиченням (SSAT, USAT). Зсуви і обертання (LSR/LSL, ASR, ROR, RRX). Barrel Shifter. Побітові логічні операції Bitwise Logic (AND, ORR, EOR, ORN, BIC, BFC, BFI, MVN). Зміна порядку байтів (REV, REVH, REVSH) і бітів (RBIT.W). Команди розширення (SXTB, SXTH, UXTB, UXTH)</i> Дидактичні засоби, які забезпечують наочність лекції – демонстрація Power Point презентацій. Дослідження директив у Keil μVision5. Завдання на СРС — вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою
7	Лекція 8. Команди пересилання даних Тема 12. Система команд MPU Cortex-M4. Набори інструкцій ARM, Thumb і Thumb2

	<i>Пересилання: регістр – регістр (R->R), безпосереднє значення в регістр загального призначення (R<-imm), регістр спеціального призначення – регістр загального призначення і навпаки (SR->R / R->SR), регістр – пам'ять.</i> <i>Команди MOV, MVN, MSR, MRS. Приклади.</i> <i>Data movement (Команди доступу до пам'яті) - (R->M, R<-M).</i> <i>Адресація пам'яті (Memory Addressing / Endianess), Load / Store instructions, Pre-index, Post-index and Pre-index with Update, Multiple Loading / Storing, Команди роботи зі стеком PUSH / POP.</i> Дидактичні засоби, які забезпечують наочність лекції – презентації Power Point. Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою Вивчити теоретичний матеріал та виконати індивідуальне завдання до лабораторної роботи №2.
8	<i>Лекції 9-10. Керування потоком команд. Умовні обчислення</i> Тема 12. Система команд MPU Cortex-M4. Набори інструкцій ARM, Thumb і Thumb2 <i>Інструменти керування потоком виконання.</i> <i>Перевірка умов (Condition Testing)</i> <i>Умовні переходи (Conditional Branch instructions)</i> <i>Умовне виконання інструкцій (Conditional Execution)</i> <i>Блоки умовного виконання If-then / If-then-else Statement</i> <i>Блоки умовного виконання If-then / If-then-else Statement</i> <i>Continue Statement / Break Statement</i> <i>Switch Statement</i> Дидактичні засоби, які забезпечують наочність лекції – презентації Power Point. Завдання на СРС – вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою Вивчити теоретичний матеріал та виконати індивідуальне завдання до лабораторної роботи №2.
9	<i>Лекція 11. Subroutines. Процедури (підпрограми / функції)</i> Тема 11. Основи мови асемблеру <i>Calling a Subroutine (виклик процедури)</i> <i>Passing Arguments to Subroutine via Register</i> <i>Stack Operations</i> <i>Write a subrouting in Different Files</i> Дидактичні засоби, які забезпечують наочність лекції – демонстрація Power Point презентацій, дослідження програм у Keil µVision5. Завдання на СРС – Вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою Вивчити теоретичний матеріал та виконати загальне завдання до лабораторної роботи №3.
10	<i>Лекція 12. Змішування C та Асемблеру</i> Тема 11. Основи мови асемблеру <i>Типи даних в C</i> <i>Signed or Unsigned Integers</i> <i>Варіанти взаємодії C і Assembler</i> Дидактичні засоби, які забезпечують наочність лекції – демонстрація Power Point презентацій, дослідження програм у Keil µVision5. Завдання на СРС – Вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою Вивчити теоретичний матеріал та виконати індивідуальне завдання до лабораторної роботи №3

11	Лекція 13. GPIO. Схемотехніка і доступ Тема 13. Порти вводу/виводу загального призначення GPIO. Схемотехніка і програмування <i>Схемотехніка портів введення/виведення</i> <i>Принципи організації введення/виведення</i> <i>Port-mapped I/O (Читання/запис у системні регістри)</i> <i>Memory Mapped I/O (Ввід/вивід відображений у пам'ять)</i> <i>Приклад виводу у порт (C & Assembler)</i> Дидактичні засоби, які забезпечують наочність лекції – демонстрація Power Point презентацій, дослідження програм у Keil μVision5. Завдання на CPC – Вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою Вивчити теоретичний матеріал та виконати індивідуальне завдання до лабораторної роботи №3.
12	Лекція 13. GPIO. Пряме програмування GPIO Тема 13. Порти вводу/виводу загального призначення GPIO. Схемотехніка і програмування <i>Кроки програмування GPIO):</i> <i>Включення порту (дозвіл тактування). Регістр дозволу тактування портів GPIO (AHB1ENR);</i> <i>Конфігурування порту. Регістри MODER, OTYPER, OSPEEDR, OSPEEDR;</i> <i>Процедури і регістри введення/виведення (ODR, BSRR, IDR);</i> <i>Звернення до портів на Асемблері і С. Карта пам'яті STM32F4xx.</i> <i>Приклади програмування GPIO.</i> Дидактичні засоби, які забезпечують наочність лекції – демонстрація Power Point презентацій, дослідження програм у Keil μVision5. Завдання на CPC – Вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою Вивчити теоретичний матеріал та виконати індивідуальне завдання до лабораторної роботи №4
13	Лекція 15. CMSIS Тема 14. CMSIS – стандарт, API-інтерфейс та бібліотека CMIS-функцій <i>Передумови виникнення стандарту CMSIS. Роль CMSIS в розробці вбудованих рішень. Склад і структура CMSIS. Файлова структура CMSIS.</i> <i>Створення проекту у Keil. Додавання елементів CMSIS у проект.</i> <i>Приклади програмування GPIO із застосуванням CMSIS.</i> Дидактичні засоби, які забезпечують наочність лекції – демонстрація Power Point презентацій, дослідження програм у Keil μVision5. Завдання на CPC – Вивчити викладений матеріал та поглибити знання за темою Вивчити теоретичний матеріал та виконати завдання до лабораторної роботи 5
14	Лекція 16. Interrupt in STM32. Введення
15	Лекція 17. Interrupt in STM32_EXTI
16	Лекція 18. Interrupt in STM32_Priority
17	Лекція 19. CLOCK SYSTEM
18	Лекція 20. SysTick
19	Лекція 21. TIMERS in STM32 Базові таймери
20	Лекція 22. TIMERS in STM32 Режими захвату входу і порівняння виходу

5.2. Лабораторні роботи

Основні завдання циклу лабораторних занять:

- закріпити теоретичні положення з архітектури МК STM32;
- придбати практичні вміння та навички створення та налагодження програм на мові асемблера і C для МК STM32 із використанням сучасних інструментальних засобів.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	ЛР №1. Встановлення і налаштування IDE Keil μVision 5	2
2	ЛР №2. Ваш перший проект для STM32	4
3	ЛР №3. Програмування на C і ASM	4
4	ЛР №4. Пряме програмування портів GPIO. Проект на мові асемблера і C.	6
5	ЛР №5. Створення проекту із застосуванням CMSIS (GPIO+CMSIS)	4
6	ЛР №6. Переривання. Обробка зовнішніх переривань (EXTI) .	4
7	ЛР №7. Переривання. Внутрішні переривання (Sys Tick) .	4
8	ЛР №8. Таймери у STM32	4
9	ЛР №9 Комплексне завдання	4

Робота студентів з підготовки до лабораторних занять виконується відповідно до поточної теми (для кожного лабораторного заняття). Посилання на літературу та інші джерела інформації для самостійного опанування матеріалу кожної теми надані у методичних рекомендаціях до лабораторних робіт.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента (CPC) складається з

- Закріплення теоретичного матеріалу лекцій і рекомендованої літератури (див. п.5.1);
- Самостійного засвоєння окремих тем курсу шляхом освоєння теоретичного і додаткового методичного та довідникового матеріалу, наданого в інструкціях до лабораторних робіт і у додатках до них, яке здійснюється студентом на етапі підготовки до лабораторної роботи (ЛР), при її виконанні, опрацюванні результатів, створенні звітів та підготовці до захисту ЛР;
- Виконання індивідуальних завдань: розрахункової роботи (РР).

6.1. Теми, що виносяться на самостійне опрацювання

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на методичні матеріали	Кількість годин CPC
1	Тема 11. Інтегроване середовище розробки програм IDE Keil™ μVision5 <i>Освоєння процедури встановлення і налаштування IDE Keil μVision5.</i> (Встановлення та налаштування IDE Keil μVision5)	4
2	Тема 12. Набір інструментів STM32 Toolset (STM32CubeMX та STM32CubeIDE). Додаток 2. Getting Started with MASM and Visual Studio 2019	4

6.2. Тематика РРР

За матеріалами розділу 2 студенти виконують розрахункову-роботу. Мета РРР – отримання навичок розробки прототипів радіоелектронних пристроїв на основі мікроконтролерів STM32 та їх програмного забезпечення. В якості апаратної платформи для розробки пропонуються навчальний стенд Global Logic Starter Kit на основі Evaluation Board STM32F4 Discovery, або Evaluation Board STM32F401/411 NUCLEO з комплектом додаткових периферійних елементів, які студенти отримують на час вивчення дисципліни.

Завдання до РГР полягає у розробці схеми пристрою, створенні прототипу (макету пристрою), програми до нього і розробці пояснювальної записки. Приблизна тематика завдань до РГР наведена у Додатку В.

На виконання РР відводиться 8 годин.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Методика і технології навчання

Методика вивчення дисципліни враховує як її специфіку, так і той факт, що вона викладається у 5-му семестрі підготовки бакалаврів зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіoeлектроніка» і є першим модулем у циклі дисциплін спрямованих на вивчення архітектури, схемотехнічних та програмних рішень обчислювальних та мікропроцесорних компонент систем телекомунікації та радіотехніки.

Лекційна частина курсу, а саме його початкові теми 1 - 4, у яких вивчаються загальнотеоретичні питання (базові поняття з мікроконтролерів, технології їх розробки, особливості архітектури та організації МК), може не завжди корегуватися («запізнюватися» за часом) із тематикою і змістом лабораторних занять, які проводяться у цей час за розкладом. Враховуючи цей момент, на початку кожного лабораторного заняття, спрямованого на освоєння нової теми курсу, викладач пояснює основні теоретичні відомості, необхідні для виконання лабораторного завдання, які надані у методичних рекомендаціях до лабораторних робіт у стислому виді.

В якості основного методу і технології навчання застосовуються: **проблемний виклад і інформаційно-комунікаційна технологія** у вигляді електронних презентацій для лекційних занять, **індивідуальна і групова проектна технологія** при виконанні комплексних лабораторних робіт і РР, з доповненням традиційних навчальних занять засобами взаємодії на основі мережевих комунікаційних можливостей.

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- **Відвідування лекційних занять і занять з інструктажу до лабораторних робіт** є обов'язковою складовою вивчення матеріалу.
- **При проведенні занять у дистанційному on-line режимі**, студенти обов'язково реєструються у відповідному Інтернет-середовищі. Імена («nickname») студентів, повинні бути такими, що надають викладачеві можливість однозначно ідентифікувати студента.
- **Відсутність студента на лекційному занятті** не звільняє його від необхідності бути готовим до контрольного опитування за пройденим матеріалом, яке лектор проводитиме на наступних лекційних заняттях.
- **Ознайомитися з матеріалом пропущеної лекції**, або при необхідності розібрати його повторно студент може з файлів Power Point презентацій лекцій, що розміщені у [classroom](#) середовища Google Workspace платформи дистанційного навчання "Сікорський", або, переглянувши відео-запис лекції, яка зазвичай робиться (у разі проведення занять у on-line режимі). Посилання на You Tube відео лекції розміщується у тому ж розділі classroom.
- **Активність студента на лекційних заняттях** (завдання питань з теми, що вивчається, надання правильних відповідей на проблемні питання з теми, що вивчається, та при опитуванні по пройденому матеріалу заохочується додатковими рейтинговими балами
- **Перед лабораторним заняттям** студент ознайомлюється з теоретичними основами теми, що вивчається (за матеріалом відповідної лекції, рекомендованими розділами літератури та зі стислих теоретичних відомостей, що надані у методичних рекомендаціях до ЛР).
- **Під час заняття з інструктажу до ЛР** студент демонструє готовність до виконання завдання, виконує типові завдання, що розглянуте і прокоментоване у методичних

рекомендаціях к ЛР, та уточнює (при необхідності) у викладача особливості індивідуального завдання.

- **Усі лабораторні завдання студент повинен виконувати самостійно**, а не в груповій команді, якщо це не вказано як групове завдання в лабораторному документі. Оформлення звітів з лабораторних робіт слід виконувати індивідуально та самостійно, без будь-якої співпраці з іншими. При виявленні плагіату робота вважається невиконаною.
- **За запізнення пред'явлення і демонстрації результату виконання лабораторної роботи** стягується штраф у розмірі 20% за кожен прострочений день, включаючи вихідні
- **Захист лабораторних робіт** виконується студентом особисто та індивідуально в ході безпосереднього спілкування з викладачем та відповідей на контрольні запитання, що наведені у методичних рекомендаціях до ЛР.
- **Завдання ДКР** мають бути виконані у визначений термін. Затримка надання результату ДКР на перевірку карається 20% на день, включаючи вихідні. Роботи, подані після публічного обговорення і публікації рішень ДКР не приймаються до рейтингового обліку.
- **Пояснювальна записка з РР** і розроблена програма (проект) і мають бути надані для перевірки на початку останньої декади семестру. Затримка подання матеріалу РР карається 20% на день, включаючи вихідні. На захист РР відводиться 3 дні наприкінці семестру. Під час захисту студент повинен продемонструвати роботу програми, пояснюючи основні прийняті рішення, і відповісти викладачеві на питання за тематикою проекту.
- **Академічна чесність** дуже важлива. Нечесно копіювати звіти з ДКР, РР та ЛР, подавати роботи, написані іншою особою, підробляти результати роботи програми, копіювати або переформулювати частини книг чи статей у власні роботи, не посилаючись належним чином на джерело. Студенти, які вчиняють або допомагають у будь-якому з цих порушень, можуть отримувати незадовільні оцінки за завдання або за весь курс, на розсуд викладача. На додаток до будь-яких академічних дій, здійснених викладачем, ці порушення також підлягають дії згідно з Кодексом поведінки і політики щодо академічної доброчесності студентів КПІ ім. Ігоря Сікорського. Університету;

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

Дисципліна проводиться у формі лекцій, лабораторних занять та самостійної роботи студентів. За результатами виконання лабораторних робіт (ЛР) студенти створюють і захищають звіти. У якості індивідуальної самостійної роботи студенти виконують розрахунково-графічну роботу (РГР) (див. розділ 6).

8.1. Види контролю

Поточний контроль: Опитування під час лекцій за тематикою пройденого матеріалу, опитування за темою лабораторного заняття, при демонстрації роботи програми та захисті звіту з лабораторної роботи, виконання тематичних контрольних робіт та МКР.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. На момент першого календарного контролю (КК) студент повинен виконати і захистити **чотири перші лабораторні роботи**, до другого КК необхідно виконати і захистити **не менш 6-ті** лабораторних робіт.

Семестровий контроль (атестація): іспит

Залік виставляється на підставі поточного рейтингу здобувача, отриманого впродовж семестру, відповідно до Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського. У разі проведення занять в дистанційному режимі семестровий контроль проводиться відповідно до «Регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі».

Умови допуску до семестрового контролю: виконання і захист не менш 6-ти лабораторних робіт, мінімально позитивна оцінка за індивідуальні завдання (РРГ) та семестровий рейтинг більше 40 балів.

Якщо здобувач виконав умови допуску до семестрового контролю, але набрав менше 60 балів або бажає підвищити свій рейтинг, результуюча оцінка виставляється за результатами залікової контрольної роботи, критерії оцінювання яких визначено РСО.

8.2. Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання (РСО)

Рейтинг студента з дисципліни розраховується за шкалою R = 100 балів і складається з балів, що він отримує за:

- виконання та захист 8 лабораторних робіт – максимум 60 балів;
- дві тематичних контрольних роботи (КР) – максимум 5 балів кожна
- модульну контрольну роботу (МКР) – максимум 10 балів;
- індивідуальну розрахунково графічну роботу (РГР) – максимум 20 балів.

1. Лабораторні роботи

Якість виконання завдань кожної лабораторної роботи викладач оцінює за класичною 5-ти бальною шкалою. Для приведення оцінок O_k у відповідність до 100-бальної рейтингової шкали отримана оцінка множиться на коефіцієнт масштабування.

Для ЛР №1 цей коефіцієнт становить 8/10, а для останніх робіт (ЛР2 ÷ ЛР8) коефіцієнт дорівнює 8/5. Таким чином за повне виконання ЛРН№1 студент отримає 4 рейтингові бали, а за кожну роботу ЛРН№2 ÷ ЛРН№8 – по 8 балів.

Максимальна кількість рейтингових балів за всі лабораторні роботи становить:

$$R_L = 5 \times 8/10 + (7 \times 5) \times 8/5 = 4 + 7 \times 8 = 60 \text{ балів.}$$

Критерії оцінювання лабораторної роботи

Рівень засвоєння навчального матеріалу	Значення O_k r_k	Опис критеріїв оцінювання
«відмінно»	$(1,00 \div 0,9) O_k$ $(1,00 \div 0,9) \hat{r}_k$	Виконані всі завдання лабораторної роботи, підготовлено і захищено звіт по роботі, надані відповіді на усі запитання при захисті роботи - оцінка за 5 бальною шкалою $O_k = 5 \div 4,5$ - кількість рейтингових балів r_k за ЛРН№1: $r_0 = O_0 * 8/10 = 4 \div 3,6$; за ЛРН№2-ЛРН№8 $r_k = O_k * 8/5 = 8 \div 7,2$;
«добре»	$(0,89 \div 0,75) O_k$ $(0,89 \div 0,75) \hat{r}_k$	Виконані всі завдання лабораторної роботи, підготовлено звіт по роботі, надані відповіді на 75 % запитань при захисті роботи - оцінка за 5 бальною шкалою $O_k = 4,45 \div 3,75$ - кількість рейтингових балів r_k за ЛРН№1: $r_0 = O_0 * 8/10 = 3,56 \div 3,0$; за ЛРН№2-ЛРН№8 $r_k = O_k * 8/5 = 7,12 \div 6,0$;
«задовільно»	$(0,74 \div 0,6) O_k$ $(0,74 \div 0,6) \hat{r}_k$	Виконані всі завдання лабораторної роботи, але звіт не відповідає всім вимогам, а також надані відповіді на 60 % запитань при захисті роботи - оцінка за 5 бальною шкалою $O_k = 3,7 \div 3,0$ - кількість рейтингових балів r_k

		за ЛРН№1: $r_0 = 0_0 * 8 / 10 = 2,96 \div 2,4$; за ЛРН№2-ЛРН№8 $r_k = 0_k * 8 / 5 = 5,92 \div 4,8$;
«незадовільно»	0	Програму не створено, або вона не виконує всіх функцій, звіт не підготовлено, або має значні недоліки. Надано відповіді менш ніж на 60 % запитань при захисті роботи – 0 балів.

2. Модульний контроль

Кожний варіант контрольних завдань МКР містить 2 теоретичних питання з різних тем курсу та одне практичне питання (задачу) за матеріалом лабораторних робіт та матеріалом, що пропонувався студентам для самостійної роботи.

Контрольні роботи оцінюються за шкалою $r_k = 100$ балів із наступним перерахунком у рейтинговий коефіцієнт 10. Перше запитання - із 30 балів, друге та третє запитання оцінюються із 35 балів..

Критерії оцінювання відповідей на питання МКР:

Номер питання	Максимальний бал	Типові помилки	Знижка балів
1	30	1. Аналіз проведено досить повно, не враховані деякі особливості. 2. Не зроблені деякі узагальнення. 3. Матеріал викладено не зовсім послідовно та логічно. 4. Аналіз проведено без врахування деяких важливих критеріїв чи параметрів. 5. Аналіз проведено досить поверхово. Не розкрито повністю питання.	- 5 - 5 - 5 - 10 - 30
2	35	1. Аналіз проведено досить повно, не враховані деякі особливості. 2. Не зроблені деякі узагальнення. 3. Матеріал викладено не зовсім послідовно та логічно. 4. Аналіз проведено без врахування деяких важливих критеріїв чи параметрів. 5. Аналіз проведено досить поверхово. Не розкрито повністю питання.	- 5 - 5 - 5 - 10 - 35
3	35	1. Аналіз проведено досить повно, не враховані деякі особливості. 2. Не зроблені деякі узагальнення. 3. Матеріал викладено не зовсім послідовно та логічно. 4. Аналіз проведено без врахування деяких важливих критеріїв чи параметрів. 5. Аналіз проведено досить поверхово. Не розкрито повністю питання.	- 5 - 5 - 5 - 10 - 35
Сума	100		

Якщо бал за окреме завдання менше 60 % від максимального (менше 21 балу по завданням № 2 та № 3, менше 18 балів по завданню № 1), то завдання оцінюється значенням «0».

Сума балів переводиться до традиційної оцінки за чотирибальною системою і до коефіцієнту $r_k = 10$ загальної рейтингової шкали згідно з таблицею.

Кількість балів за виконання МКР	Оцінка за чотирибальною системою	Рейтинговий коефіцієнт
100... – ...90	“відмінно”	$(1,00 \div 0,9) \hat{r}_k = 10 \div 9$
89.....75	“добре”	$(0,89 \div 0,75) \hat{r}_k = 8,9 \div 7,5$
74.....60	“задовільно”	$(0,74 \div 0,6) \hat{r}_k = 7,4 \div 6,0$

59.....0	“незадовільно”	0
----------	----------------	---

3.Розрахунково-графічна робота (РГР)

Завдання до РГР полягає у розробці проекту програми і пояснювальної записки до неї, яка містить постанову задачі, структуру проекту (склад і призначення програмних модулів) опис програми та опис контрольного прикладу, для перевірки правильності роботи програми.

Ваговий бал за РР $r_k = 25$.

Критерії оцінювання РР

Рівень засвоєння навчального матеріалу	Значення r_k	Опис критеріїв оцінювання
«відмінно»	$(1,00 \div 0,9) \hat{r}_k$	Розроблено пояснювальну записку і продемонстровано створену програму згідно з вимогами до РР, надані відповіді на 100 ÷ 90% запитань при захисті роботи - 25 ÷ 22,5 балів
«добре»	$(0,89 \div 0,75) \hat{r}_k$	Програмний проекту має незначні недоліки, але в цілому програма відповідає завданню, надані відповіді на 75 % запитань при захисті роботи - 22,25 ÷ 18,75 балів .
«задовільно»	$(0,74 \div 0,6) \hat{r}_k$	Програмний проекту має недоліки, не повністю відповідає завданню, а також надані відповіді на 60 % запитань при захисті роботи - 18,5 ÷ 15,0 бали .
«незадовільно»	0	Не виконані умови попереднього пункту. Надано відповіді менш ніж на 60 % запитань при захисті роботи - 0 балів .

Штрафні та заохочувальні бали нараховуються за:

- недопуск до лабораторних робіт у зв'язку з незадовільним вхідним контролем – 1 бал;
- недотримання терміну захисту лабораторної роботи за кожну добу затримки – 1 бал;
- ненадання правильної відповіді на питання при опиті на лекційному занятті – 1 бал;
- затримку подання на перевірку матеріалу РР за кожну добу затримки – 5 балів
- модернізацію лабораторної роботи, виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни до **+5 балів**.

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_c = 60 + 5 + 10 + 25 = 100 \text{ балів.}$$

Необхідною умовою допуску до заліку є виконання та захист не менш 6-ти лабораторних робіт, мінімально позитивна оцінка за індивідуальні завдання (ДКР,РР) та семестровий рейтинг не менше 40 % від R_c , тобто не менш 40 балів.

Студенти, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більш балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі студентами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими студентами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, проводиться семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи або співбесіди.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Для кращого опанування дисципліни (особливо в умовах дистанційного навчання) студенти можуть переглянути відео-записи лекцій попередніх років, розміщені у вигляді tr4-файлів на Google Disk Class Room системи дистанційного навчання КПІ ім. Ігоря Сікорського за наступним посиланням:

<https://drive.google.com/drive/folders/1lw2rIP7hWF-XqA4Fz2DSax-V5H9ojUwR>,

або доступні для перегляду у YouTube за посиланням:

https://www.youtube.com/playlist?list=PL36mSCczyh29mLwDloGPi2TfTms_T7dZ.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом, к.т.н., доцентом, Корнєвим Володимиром Павловичем
старшим викладачем Бондаренко Наталією Олександрівною

Ухвалено кафедрою КЕОА (протокол № 12 від 18.06.2025 р.).

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 6/2025 від 26.06.2025 р.)