

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені ІВАНА ФРАНКА

Кафедра (циклова комісія) \_\_\_\_\_ радіоелектронних і комп'ютерних систем \_\_\_\_\_

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Декан  
факультету \_\_\_\_\_  
доц. Юрій ФУРГАЛА  
“ ” \_\_\_\_\_  
2019 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

\_\_\_\_\_ Мікроконтролери (на базі GL Embedded Starter Kits)  
(шифр і назва навчальної дисципліни)  
спеціальність \_\_\_\_\_ 122 – Комп'ютерні науки \_\_\_\_\_  
(шифр і назва спеціальності)  
спеціалізація \_\_\_\_\_  
(назва спеціалізації)  
факультет \_\_\_\_\_ електроніки та комп'ютерних технологій \_\_\_\_\_  
(назва інституту, факультету, відділення)

Робоча програма “ Мікроконтролери (на базі GL Embedded Starter Kits) ”  
\_\_\_\_\_ для студентів

(назва навчальної дисципліни)

галузі знань “12 Інформаційні технології ”

за спеціальністю “122 Комп’ютерні науки ”


Розробники: Бойко Я.В., канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри радіоелектронних і комп’ютерних систем

(вказати авторів, їхні посади, наукові ступені та вчені звання)

Робочу програму схвалено на засіданні кафедри (циклової комісії) \_\_\_\_\_  
радіоелектронних і комп’ютерних систем

Протокол від “ 31 ” 08 2019 року № 1/23

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ радіоелектронних і комп’ютерних систем

 (Ігор Оленич)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Ухвалено Вченою радою \_\_\_\_\_ факультету електроніки та комп’ютерних технологій

Протокол від “ 31 ” 08 2019 року № 28/22

© Бойко Я., 2019 рік

© ЛНУ ім. І. Франка, 2019 рік

### Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		<i>денна форма навчання</i>
Кількість кредитів – 5,5	Галузь знань <b>12</b> Інформаційні технології	Вибіркова
Модулів – 2	Спеціальність <b>121 – Інженерія програмного забезпечення</b>	<i>Рік підготовки:</i> <b>3-й</b>
Змістових модулів – 4		<i>Семестр</i> <b>6-й</b>
Індивідуальне науково-дослідне завдання –		
Загальна кількість годин – <b>165</b>		
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – <b>4</b> самостійної роботи студента – <b>6,3</b>	Освітньо-кваліфікаційний рівень: <b>бакалавр</b>	<i>Лекції</i> <b>32 год.</b>
		<i>Практичні, семінарські</i> -----
		<i>Лабораторні</i> <b>32 год.</b>
		<i>Самостійна робота</i> <b>101 год.</b>
		<i>Вид контролю:</i> залік

## ***Мета та завдання навчальної дисципліни***

Курс «Мікроконтролери (на базі GL Embedded Starter Kits)» є вибірковою дисципліною циклу професійної та практичної підготовки.

### **Мета:**

- формування у студентів знань про архітектуру мікроконтролерів та програмованих систем на кристали, принципів створення програмного забезпечення мікроконтролерних систем;
- формування у студентів практичних навичок проектування інформаційно-вимірювальних мікроконтролерних систем, використання спеціалізованих програмних інструментів для програмування мікроконтролерів.

### **Завдання:**

Після вивчення даної дисципліни

#### ***студент повинен знати:***

- систематику та основні тенденції розвитку мікроконтролерної техніки;
  - теоретичні основи та практичні аспекти архітектури мікроконтролерів;
  - програмні інтерфейси мікроконтролерів;
  - призначення та функції інструментальних засобів для створення програмного забезпечення мікроконтролерів;
  - основи роботи з периферією МК;
1. • порядок розробки та відлагодження програмного забезпечення МК:

#### ***студент повинен вміти:***

- використовувати інструментальні програмні засоби для розробки програмного забезпечення МК;
  - застосовувати бібліотеки функцій, що надаються системами розробки МК;
  - вирішувати питання організації взаємодії МК з периферійними пристроями;
1. • реалізовувати проекти з використанням МК як елементами IoT, робототехніки тощо.

Для вивчення дисципліни необхідні знання з таких курсів: Основи програмування, Архітектура комп'ютерів і комп'ютерна електроніка, Комп'ютерні інформаційні мережі та системи, Вступ в інженерію програмного забезпечення.

## ***Програма навчальної дисципліни***

### ***Програма навчальної дисципліни***

#### **МОДУЛЬ 1**

#### ***Змістовий модуль 1. Основи мікроконтролерної техніки***

##### **Тема 1. Вступ. Класифікація та огляд мікроконтролерних систем.**

Визначення і сфери застосування МК — особливості МК як обчислювальних систем, типи мікропроцесорів, застосування в системах автоматичного контролю.

Типи вбудованих систем — мікрокомп'ютерні та мікроконтролерні вбудовані системи.

Класифікація та порівняльний аналіз на основі базових архітектур і виробників -- Intel 8051, Atmel AVR, Microchip PIC, ARM, Renesas H8, SuperHTM, M16C. Motorola/Freescale/NXP families.

Історія розвитку індустрії мікроконтролерів — від мікропроцесорів Intel 4004 (1971), TI TMS1802NC (1972), Intel 8051 (1976) до сучасного стану елементної бази та комплектування (Cypress PSoC, STM32).

Гарвардська архітектура та архітектура Фон-Неймана -- відмінності у розподілі адресних просторів та особливостях функціонування мікропроцесора.

Вузькоспеціалізовані системи — цифрові сигнальні процесори (DSP), інтегральні схеми для специфічного застосування (ASIC).

Системи-на-чипі (SoC) — мікроконтролерні та мікропроцесорні SoC, програмовані SoC (PSoC).

МК як складова IoT — визначення IoT та роль мікроконтролерної техніки. Edge/Fog-обчислення. Розширення STM32Cube.AI.

## **Тема 2. Мікроконтролери виробництва компанії STMicroelectronics – загальна характеристика.**

Загальна характеристика, продуктова лінійка, серії — загальні основи будови MCU STM32 (ядро процесора ARM Cortex M, статична оперативна пам'ять, флеш-пам'ять, інтерфейс налагодження, периферійні пристрої). Огляд характеристик: ширина слів для даних, розрядність, архітектура, конвеєр, набір інструкцій, організація пам'яті програм, буфер передвибірки, середній розмір інструкції, тип переривань, затримка реагування на переривання, режими управління енергоспоживанням, налагоджувальний інтерфейс. Серії STM32 H7, F7, F4, F3, F2, F1, F0, G0, L5, L4, L1, L0, W, J (відмінності, застосування).

Представлення периферійних блоків — підблок, який містить кінцеві автомати, лічильники, комбінаторну та послідовну логіку (призначений для виконання завдань, які не потребують участі процесора); підблок налаштування та управління периферією, яке здійснюється програмою через регістри, з'єднані з внутрішньою шиною, що розділена з іншими ресурсами MCU.

## **Тема 3. Проектування та розробка програмного забезпечення для мікроконтролерів STM32.**

Типові структури програм та особливості програмування мікроконтролерів. Низько- та високорівневі засоби програмування МК. Синтаксис та приклади асемблерного коду для STM32.

Cortex Microcontroller Software Interface Standard (CMSIS).

Особливості застосування мови C. Переозначені типи даних. Системи числення (коротке повторення). Компілятори. MISRA C.

Хід виконання програм. Опитування. Переривання. Багатозадачні системи.

Середовище розробки STM32CubeIDE. Основні можливості (підтримка STMicroelectronics ST-LINK та Segger J-Link, імпорт проектів з Atollic TrueSTUDIO та AC6 System Workbench) та етапи роботи в середовищі (вибір мікроконтролера STM32, конфігурація Pinout, інтегрованої периферії, таймерів і проміжного програмного забезпечення, створення проекту та генерація коду ініціалізації).

## **Тема 4. Загальна характеристика STM32F407.**

Архітектура, властивості, блок-діаграма. Базовий мікропроцесор ARM Cortex M4:

- Повнофункціональний набір інструкцій ARMv7-M, оптимізований для вбудованих додатків
- Модуль обчислень з рухомою комою (FPU)
- Блок захисту пам'яті (MPU)
- Вкладений векторний контролер переривання (NVIC)
- Можливості відстеження, точки зупинки та JTAG
- Розширена архітектура шин мікроконтролерів (AMBA)
- Вдосконалена високопродуктивна шина (AHB5, AHB-Lite)

Кількісні характеристики (частоти, розміри пам'яті різних типів). Внутрішні шини. Системні тактові сигнали. Тактові сигнали периферійних пристроїв.

## МОДУЛЬ 2

### **Змістовий модуль 2. Програмування функціональних компонент мікроконтролерів**

#### **Тема 1. Центральний процесор і підсистема пам'яті STM32F407.**

Архітектура та набір команд мікропроцесора ARM Cortex-M4. Регістри — загального призначення та спеціальні (program status, exception mask, control registers). Регістри FPU. Статусні прапорці, Q-статусний прапорець. Біти GE. Набір інструкцій: інструкції переміщення в межах процесора, інструкції доступу до пам'яті, арифметичні операції, логічні операції, інструкції зсуву та обертання, операції перетворення даних, операції опрацювання бітових полів, інструкції опрацювання виняткових ситуацій. Розширення DSP. SIMD-розширення. Множення і MAC-інструкції. FPU-інструкції. Набори інструкцій Thumb (16-розрядні інструкції) Thumb-2 (змінна довжина інструкцій). Pipelining, розгалуження, передбачення розгалужень. Фіксований адресний простір пам'яті. Технологія Bit-Banding та її використання. Вирівняний та невирівняний доступ до пам'яті. Стекова пам'ять. Модуль захисту пам'яті (MPU). Типи пам'яті — Flash, EEPROM, SRAM.

#### **Тема 2. GPIO.**

Відображення периферії STM32 і дескриптори HAL. Конфігурування GPIO. Режими GPIO (High Impedance Analog, High Impedance Analog, Resistive Pull Up, Open Drain, Drives Low, Open Drain, Drives High, Strong Drive, Resistive Pull Up & Down. Регістр значення виводів, регістр встановлення, регістр скидання, регістр напрямку GPIO. Особливості програмування GPIO. Переривання від GPIO. Альтернативні функції GPIO.

#### **Тема 3.. Базова архітектура переривань STM32F407.**

Джерела переривань — апаратні та програмні переривання. Exceptions (винятки) — Reset, NMI, Hard Fault, Memory Management Fault, Bus Fault, Usage Fault, SVCCall, Debug Monitor, PendSV, SysTick. Послідовність входжень винятків і стекування. Виконання обробників винятків. Інтерфейс обробників переривань. Алгоритм опрацювання (життєвий цикл) переривань. Регістри вмикання переривань. Регістр програмного перемикавання переривань. Спеціальні регістри винятків і маскування переривань. Відображення таблиці векторів в пам'яті та її переміщення. Пріоритети. Затримки переривань. Блок-діаграма NVIC. Зовнішні лінії та NVIC. Дозвіл переривань (використання STM32CubeMX).

#### **Тема 4. Системні ресурси.**

Система керування живленням. Режими зниженого енергоживлення. Режим сну. System control register (SCR). Умови виходу. Контролер переривань пробудження. Інструкції WFI, WFE. Розробка програм із зниженим енергоспоживанням. Таймери, головні внутрішні осцилятори, високо- і низькочастотні таймери. Таймери загального призначення. Режим захоплення. Режим лічильника зовнішніх подій. Режим збігу. Регістри керування таймерами. Структура модуля таймерів/лічильників. Сторожовий таймер. Модуль годинника реального часу. Регістри керування модулем RTC. Система введення/виведення (огляд, основи використання GPIO).

#### **Тема 5. Аналогові блоки.**

Аналогово-цифровий перетворювач. Основи successive approximation (SAR) АЦП. Модуль HAL\_ADC. Режими перетворення: Single Channel, Single Conversation, Scan Single Conversion,

Single Channel, Continuous Conversion,  
Scan Continuous Conversion,  
Injected Conversion,  
Dual.

Цифрово-аналоговий перетворювач. Модуль HAL\_DAC. Ручне керування ЦАП та використання таймера.

#### **Тема 6.. Спеціалізована периферія.**

Controller Area Network. Загальна інформація, Керуючі регістри контролерів CAN. Регістри фільтрації повідомлень. Топологія мережі CAN, область застосування, протоколи високого рівня.

Direct Memory Access. Модуль HAL\_DMA. Синхронізація DMA. Пересилання з пам'яті в пам'ять. Пакетна передача. Підтримка модулем DMA периферійних пристроїв. Пересилання несуміжних даних. Регістри керування модулем DMA. Передавання даних в режимі переривання. Передавання Peripheral-to-Peripheral. Використання STM32CubeMX для конфігурування DMA. Аналіз продуктивності DMA.

#### **Тема 7. Цифрові блоки з фіксованими функціями.**

Широтно-імпульсна модуляція та її режими (mode 1, mode 2). Використання STM32CubeMX для конфігурування режимів PWM. Одноімпульсний режим. Режим енкодера.

Послідовні комунікаційні блоки та їх режими.

I<sup>2</sup>C. Загальна характеристика інтерфейсу. Режими роботи інтерфейсу I<sup>2</sup>C мікроконтролерів сімейства STM32. Опис виводів і керуючих регістрів.

SPI. Передача даних в режимі ведучого та веденого. Переривання SPI.

UART, Характеристика модулів UART MCU STM32F407. Конфігурування та передавання даних.

#### **Тема 8. Апаратні та програмні засоби налагодження STM32F407.**

Винятки, які стосуються помилок. Послідовність опрацювання помилок Cortex-M та порядок викликів ARM. Регістри Cortex-M для аналізу помилок CFSR, HFSR, DFSR, MMFAR, BFAR.

Програмні засоби налагодження коду середовища STM32CubeIDE — Expressions, Memory Monitors, Watchpoints, Instruction Stepping Mode, Registers View. Debug Port (DP), Access Port (AP), and Debug Access Port (DAP). Інтерфейс трасування. Режими та події налагодження.

Модулі Flash patch and breakpoint (FPB), Data watchpoint and trace (DWT), Instrumentation trace macrocell (ITM). АНВ access port (АНВ-AP). ARM Semihosting.

Зовнішні налагоджувачі. ST-LINK, SEGGER J-Link, Інтерфейси JTAG та SWD.

### **4. Структура навчальної дисципліни**

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	ср	
1	2	3	4	5	6	7
<b>МОДУЛЬ 1</b>						
<i>Змістовий модуль 1. Основні концепції операційних систем</i>						

<b>Тема 1. Вступ. Класифікація та огляд мікроконтролерних систем.</b>	10	2		2		6
<b>Тема 2. Мікроконтролери виробництва компанії STMicroelectronics – загальна характеристика</b>	15	4		4		7
<b>Тема 3. Проєктування та розробка програмного забезпечення для мікроконтролерів STM32</b>	14	4		4		6
<b>Тема 4. Загальна характеристика STM32F407</b>	10	2		2		6
<i>Разом – зм. модуль 1</i>	<b>49</b>	<b>12</b>		<b>12</b>		<b>25</b>
<b>МОДУЛЬ 2</b>						
<i>Змістовий модуль 2. Оперативна пам'ять</i>						
<b>Тема 1. Центральний процесор і підсистема пам'яті STM32F407</b>	12	2		2		8
<b>Тема 2. GPIO</b>	16	4		4		8
<b>Тема 3. Базова архітектура переривань STM32F407</b>	20	4		4		12
<b>Тема 4. Системні ресурси</b>	14	2		2		10
<b>Тема 5. Аналогові блоки</b>	14	2		2		10
<b>Тема 6. Спеціалізована периферія</b>	16	2		2		12
<b>Тема 7. Цифрові блоки з фіксованими функціями</b>	12	2		2		8
<b>Тема 8. Апаратні та програмні засоби налагодження (debugging) STM32F407</b>	12	2		2		8
<i>Разом – зм. модуль 2</i>	<b>116</b>	<b>20</b>		<b>20</b>		<b>76</b>
<b>Усього годин</b>	<b>165</b>	<b>32</b>		<b>32</b>		<b>101</b>

#### 5. Теми лекційних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Класифікація та огляд мікроконтролерних систем.	2
2	Мікроконтролери виробництва компанії STMicroelectronics – загальна характеристика	4
3	Проєктування та розробка програмного забезпечення для мікроконтролерів STM32	4
4	Загальна характеристика STM32F407	2
5	Центральний процесор і підсистема пам'яті STM32F407	2
6	GPIO	4



7	Базова архітектура переривань STM32F407	4
8	Системні ресурси	2
9	Аналогові блоки	2
10	Спеціалізована периферія	2
11	Цифрові блоки з фіксованими функціями	2
12	Апаратні та програмні засоби налагодження (debugging) STM32F407	2
	<b>Разом</b>	<b>32</b>

### **6. Темі семінарських занять**

Семінарські заняття в курсі не передбачені.

### **7. Темі практичних занять**

Практичні заняття в курсі не передбачені.

### **8. Темі лабораторних занять**

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Ознайомлення із засобами програмування STM32F407 – STM32CubeIDE. Ознайомлення із схемним редактором для конфігурування периферії STM32CubeMX	2
2	Реалізація проекту програмного і апаратного (PWM) керування яскравістю світлодіода.	4
3	Керування блоком PWM за допомогою USART	4
4	Вимірювання аналогових сигналів з відображенням на LCD-дисплеї	2
5	Приклади використання шини CAN	2
6	Опрацювання сигналів MEMS-пристроїв	4
7	Керування LED за допомогою механізму переривань	4
8	Організація мережної взаємодії за протоколом Ethernet	2
9	Реалізація генераторів сигналів різної форми	2
10	Реалізація простої системи вимірювання частоти сигналу	2
11	Вимірювання температури цифровим датчиком.	2
12	Приклади використання DMA	2
	<b>Разом</b>	<b>32</b>

### **9. Самостійна робота**

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Класифікація та огляд мікроконтролерних систем.	6
2	Мікроконтролери виробництва компанії STMicroelectronics – загальна характеристика	7
3	Проектування та розробка програмного забезпечення для мікроконтролерів STM32	6
4	Загальна характеристика STM32F407	6
5	Центральний процесор і підсистема пам'яті STM32F407	8
6	GPIO	8

7	Базова архітектура переривань STM32F407	12
8	Системні ресурси	10
9	Аналогові блоки	10
10	Спеціалізована периферія	12
11	Цифрові блоки з фіксованими функціями	8
12	Апаратні та програмні засоби налагодження (debugging) STM32F407	8
	<b>Разом</b>	<b>101</b>

### **10. Методи навчання**

Навчальні заняття проводяться у формі лекційних та лабораторних робіт. Лекція – основна форма проведення навчальних занять, призначена для засвоєння теоретичного матеріалу. Під час лабораторних занять студент під керівництвом викладача набуває практичних навичок використання програмних інтерфейсів операційних систем для створення прикладного та системного програмного забезпечення. Лабораторні заняття проводяться у навчальному комп'ютерному класі.

Самостійна робота студента є основним засобом оволодіння навчальним матеріалом у час, вільний від обов'язкових навчальних занять. Самостійна робота студентів складається з таких видів робіт:

- підготовка до лекцій та лабораторних робіт,
- оформлення звітів про виконані лабораторні роботи,
- самостійне опрацювання окремих тем навчальної дисципліни,
- підготовка до модульних контрольних робіт.

### **11. Методи контролю**

Оцінка якості засвоєння навчальної дисципліни включає поточний контроль успішності та складання підсумкового заліку.

Для поточного контролю засвоєння студентами навчального матеріалу передбачається виконання та захист 12 обов'язкових лабораторних робіт та написання модульної контрольної роботи.

Залік проводиться в письмово-усній формі.

### **12. Розподіл балів, що присвоюється студентам для заліку**

Контроль засвоєння матеріалу включає поточний контроль (модульна контрольна робота = 35 балів), лабораторні роботи та оцінка відповідей (65 балів) Сумарна оцінка виставляється за 100-бальною шкалою, на основі балів, набраних протягом семестру.

При оцінюванні лабораторної роботи враховується підготовка до виконання лабораторної роботи, хід виконання лабораторної роботи, оформлення звіту, отримані результати та захист звіту про виконану лабораторну роботу.

Поточне тестування та самостійна робота	Лабораторні роботи	Сума
<b>Модуль</b>		
<b>T1–T15</b>		
40	60	100

Шкала оцінювання: Університету , національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за ECTS	Оцінка за національною шкалою		
		іспит	залік	
90-100	<b>A</b>	<b>5</b>	відмінно	зараховано
81-89	<b>B</b>	<b>4</b>	добре	
71-80	<b>C</b>			
61-70	<b>D</b>	<b>3</b>	задовільно	
51-60	<b>E</b>			
21–50	<b>FX</b>	<b>2</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-20	<b>F</b>	<b>2</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

## 12. Методичне забезпечення

Електронний курс: <https://e-learning.lnu.edu.ua/course/view.php?id=4584>

## 13. Рекомендована література

- 1) Carmine Noviello. *Mastering STM32: A step-by-step guide to the most complete ARM Cortex-M platform, using the official STM32Cube, 2nd Edition*. – Leanpub, 2022. – 910 p.
- 2) Trevor Martin. *The Designer's Guide to the Cortex-M Processor Family, 3rd Edition*. – Elsevier, 2022. – 650 p.
- 3) Cem Unsalan, Huseyin Deniz Gurhan, Mehmet Erkin Yucel. *Embedded System Design with ARM Cortex-M Microcontrollers: Applications with C, C++ and MicroPython*. – Springer, 2022. – 576 p.
- 4) Majid Pakdel. *Advanced Programming with STM32 Microcontrollers: Master the Software Tools Behind the STM32 Microcontroller*. – Elektor Verlag, 2020. – 216 p.
- 5) Cem Unsalan, Duygun E. Barkana, H. Deniz Gurhan. *Embedded Digital Control with Microcontrollers: Implementation with C and Python*. Wiley. – 2021. – 364 p.
- 6) Dong-Jin Lim. *Control Systems Engineering: Design and Implementation using Arm Cortex-M Microcontrollers*, Dr. Dong-Jin Lim, 2021. – 449 p.
- 7) Mazidi, Muhammad Ali & Chen, Shujen & Ghaemi, Eshragh. *STM32 Arm Programming for Embedded Systems: Using C Language with STM32 Nucleo*. MicroDigitalEd, 2018. – 378 p.
- 8) Joseph Yiu. *The Definitive Guide to ARM Cortex-M3 and Cortex-M4 Processors, 3rd Edition*. Newnes, 2014. – 477 p.
- 9) Mark Fisher. *ARM Cortex M4 Cookbook*. Packt Publishing, 2016. – 463 p.
- 10) Agus Kurniawan. *STM32 Nucleo-32 Development Workshop* PE Press, 2018. – 194 p.